

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Částí a mechanismů strojů

Zařízení pro domácí výrobu plášťovaných střel

Swaging equipment for home manufacture of jacketed bullets

Student:

Bc. Lukáš Buček

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Zdeňku Foltovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky během vypracovávání práce. Dále patří velký dík za vstřícnost panu Ing. Pavlu Kratochvílovi ze společnosti Sellier & Bellot a.s., který mi poskytl odbornou konzultaci a provedl mě výrobním závodem.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BUČEK, L. *Zařízení pro domácí výrobu plášťovaných střel: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2021, 72 s. Vedoucí práce: Foltá, Z.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem zařízení určeného pro domácí výrobu plášťových střel s olověným jádrem jako spotřební materiál pro účely domácího přebíjení střeliva. V úvodu jsou shrnuty základní poznatky o historickém vývoji a informace o konstrukci a fungování a moderního střeliva. Dále je vypracován koncept zařízení a technologický postup jednotlivých operací. Následuje kompletní konstrukční řešení lisu a nástrojové sady.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

BUČEK, L. *Swaging equipment for home manufacture of jacketed bullets*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2021, 72 p. Thesis head: Foltá, Z.

The diploma thesis deals with design of swaging equipment intended for home production of jacketed bullets with lead cores as a consumables for ammo home-reloading purposes. The introduction summarizes basic knowledge about historical development and information about design and operation of modern ammunition. Furthermore, the concept of equipment and technological process of individual operations is developed. Last part contains complete design and constructional solution of the press and tool set.

Obsah

Úvod	14
Cíle práce	15
1. Střelivo	16
1.1 Historie a vývoj	16
1.2 Moderní střelivo	19
1.3 Druhy ráží	20
2. Koncept zařízení	21
3. Volba technologického postupu	22
3.1 Tažení kalíšku	22
3.2 Vystřížení přístřihu	26
3.3 Ostatní operace	27
4. Návrh konstrukce lisu	28
4.1 Kinematický rozbor	28
4.2 Konstrukční řešení	32
4.3 Kontrola namáhání součástí	37
5. Konstrukce nástrojové sady	42
5.1 Střížník a střížnice	42
5.2 Tažidlo pro 1. tah	46
5.3 Tažidlo pro 2. tah	51
5.4 Nástroje pro odlévání olověného jádra	55
5.5 Matrice pro kalibraci jádra	57
5.6 Matrice usazovací a lemovací	61
5.7 Matrice formovací	65
6. Závěr	69
7. Seznam použité literatury	70
8. Seznam převzatých obrázků	71

9. Seznam příloh	72
-------------------------------	-----------

Úvod

Obsahem této práce je konstrukční návrh zařízení pro domácí použití, které umožní svému uživateli vyrábět celoplášťové střely, případně další typy plášťových střel s olověným jádrem jako spotřební materiál pro účely domácího přebíjení střeliva.

Ačkoli zbraně, potažmo střelivo, mohou v mnoha lidech vyvolávat hrůzu či odpor, z technického hlediska se bezesporu jedná o velice zajímavou a neustále se rozvíjející oblast, která zaujímá na poli strojírenství své nezastupitelné místo. Zarputile odpůrce, ve kterých toto poněkud kontroverzní téma vzbuzuje představu násilí a destrukce, můžeme s nadsázkou trochu uklidnit faktem, že střelná zbraň je v podstatě založená na stejných fyzikálních principech, jako například spalovací motor. Z historického hlediska byl zbrojní průmysl, zvláště pak ve 20. století, významnou součástí strojní výroby v mnoha zemích světa a byl považován za jeden z mnoha ukazatelů technické vyspělosti. Nutno podotknout, že v souvislosti s intenzivním vývojem v této oblasti v minulosti vzniklo jako vedlejší produkt mnoho inovací a vynálezů, bez kterých si dnes nedokážeme život vůbec představit. V naší zemi má výroba zbraní a střeliva již dlouholetou tradici. V současné době je například Česká zbrojovka považována za jednoho z nejprestižnějších výrobců zbraní na světě a některé naše zbraně patří k těm nejslavnějším a nejžádanějším.

K nápadu sestavit zařízení pro domácí výrobu střel mě přivedl nejen můj technický zájem o tuto oblast, ale rovněž skutečnost, že domácí přebíjení střeliva je v současnosti velkým trendem a jedná se o nedílnou součást střeleckého hobby. Principem přebíjení je opětovné využití prázdných nábojnic, které se naplní prachem, opatří se novou zápalkou a osadí novou střelou. Dramaticky se tak snižují náklady na pořízení střeliva, přičemž to přebíjené se při notné dávce zručnosti může kvalitativně velmi blížit tomu továrnímu. Někteří sportovní střelci dokonce preferují výhradně své vlastní střelivo, jehož laboraci si pečlivě přizpůsobili svým individuálním potřebám. A tím se dostáváme k hlavní myšlence této práce. Spotřební materiál potřebný k přebíjení je nutné vždy zakoupit. Co se střel týče, existuje možnost domácího odlévání pomocí pícky a kokil, například z odpadního olova ze střelnic, případně z jiných zdrojů. Ovšem kromě dalšího snížení nákladů tyto celoolověné střely přináší řadu nevýhod a úskalí jak z hlediska balistického, tak z hlediska údržby zbraní. Mým cílem je tedy rozšířit nabídku přebíjecích nástrojů o artikl umožňující výrobu vlastních plášťových střel a vyplnit tak mezeru na trhu.

Cíle práce

S přihlédnutím k zadání byly vytyčeny následující dílčí cíle:

- stručná rešerše v oblasti střeliva,
- vytvoření vlastního konceptu celého zařízení,
- rozpracování konceptu a vytvoření výrobní sady pro jednu zvolenou ráži,
- vysvětlení pracovního postupu,
- pevnostní výpočty konstrukčních uzlů,
- vytvoření výkresové dokumentace.

1. Střelivo

Střelivo (někdy také munice) v obecném slova smyslu je velmi širokým pojmem, který zahrnuje mimo jiné granáty, miny a další vojenský materiál. Avšak z hlediska zákona o střelných zbraních a střelivu se jedná o souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do střelných zbraní. Pro účely této práce bude tento pojem omezen na náboje do střelných zbraní a v následujících kapitolách jej dále rozvedu a vytvořím souhrn základních poznatků, které jsou nutné k lepšímu pochopení této problematiky.

1.1 Historie a vývoj

Střelné zbraně provázejí lidstvo již od nepaměti. Černý střelný prach, který dříve sloužil jako výmetná slož, ale i jako trhavina, byl v Číně vynalezen již v 9. století našeho letopočtu. Ovšem od nesmírně náročného a zdlouhavého nabíjení děl a předovek k rychlému a pohodlnému vkládání nábojů do zbraně vedla ještě dlouhá cesta. První koncept náboje, který spojuje střelu, střelný prach a další potřebné části v jeden celek, kterým lze nabíjet zbraň, vznikl až ve 14. století. Prvního hromadného nasazení se náboje dočkaly až koncem 15. století, přičemž střela s prachovou navážkou byly uzavřeny v papírovém pouzdru. V průběhu mnoha let vývoje byly používány nejrůznější druhy materiálů střel i pouzder, nicméně konstrukce a vlastnosti tehdejších zbraní a nábojů vyžadovaly nabíjení zepředu přes ústí hlavně zbraně a samotnému výstřelu předcházela řada dalších úkonů nutných k zažehnutí střelného prachu uvnitř hlavně.



Obr. 1 Papírové náboje užívané během Americké občanské války v 60. letech 19. století [1]

Dalším mezníkem byl vynález perkusních zápalek, o kterou byly papírové náboje rozšířeny a celý proces nabíjení a střelby se tak značně urychlil a zjednodušil. Asi nejslavnější zbraní využívající tento jednotný papírový náboj byla jehlovka Chassepot model 1866. Zažehnutí prachové náplně zde bylo iniciováno prudkým úderem jehly do dna zápalky v papírové nábojnici.



Obr. 2 Detailní pohled na závěrový mechanismus jehlovky Chassepot model 1866 [2]

Další vývoj pak vyvrcholil trojicí převratných řešení, z nichž dnešní moderní střelivo vychází. Prvním z nich byl jednotný náboj s mosaznou soustruženou nábojnicí se středovým zápallem, kterému dal vzniknout švýcarský puškař Jean Samuel Pauly v roce 1812.



Obr. 3 Náboj 15 mm Pauly [3]

Následoval patent na náboj s kolíčkovou zápalkou, který přihlásil v roce 1835 francouzský puškař Casimir Lefaucheux jehož vynález se dočkal stejné slávy, jako stejnojmenné revolvery využívající tohoto principu zápalu.



Obr. 4 Náboj 12 mm Lefaucheux [4]

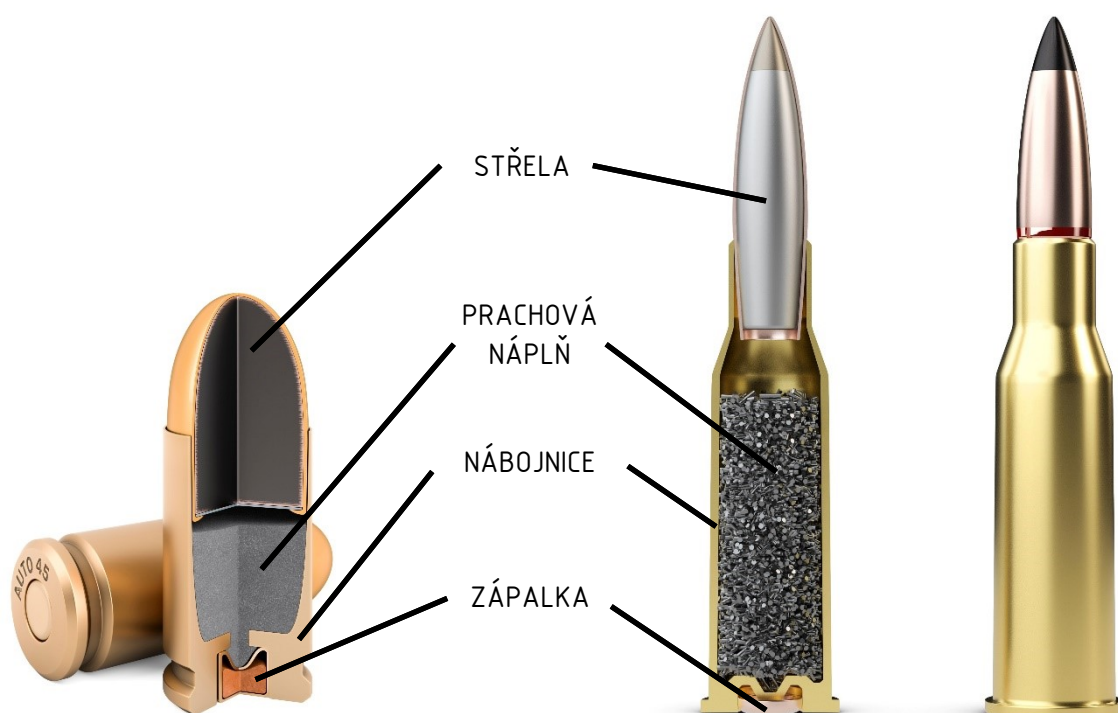
A konečně, v roce 1849 si nechal Louis Flobert patentovat svůj náboj s okrajovým zápalem, který je dodnes vyráběn a ze kterého vychází dnešní malorážkové střelivo s okrajovým zápalem.



Obr. 5 Náboj .22 Flobert [5]

1.2 Moderní střelivo

Ačkoli existuje nespočet druhů střeliva, zpravidla každý moderní náboj sestává, až na některé výjimky, ze čtyř hlavních částí a sice střely (projektilu), která po výstřelu opouští hlaveň a jejím hlavním úkolem je zasáhnout cíl, dále prachové náplně, která slouží jako energetický substrát pro pohon střely, zápalky, která má za úkol iniciovat zapálení prachové náplně a konečně nábojnice, která vše drží pohromadě. Vnitřní struktura náboje je patrná z obrázku č. 6.



Obr. 6 Struktura pistolového (vlevo) a puškového (vpravo) náboje



Obr. 7 Delaborovaný nábroj 9 mm Luger

1.3 Druhy ráží

Existuje nepřehledné množství nejrozličnějších druhů střeliva a pro laika je poněkud složité se v této oblasti orientovat. Obecně lze náboje podle ráží rozdělit do dvou kategorií, a to pistolové a revolverové náboje a puškové náboje. Ráže určuje smluvní průměr střely v palcích či milimetrech, většinou podle toho, zda vznikla v zemi využívající imperiální nebo metrický systém jednotek. Ráží lze ale také chápat jako název či označení náboje. Na obrázcích níže jsou vyobrazeny nejpoužívanější puškové a pistolové ráže.



Obr. 8 Nejznámější puškové ráže

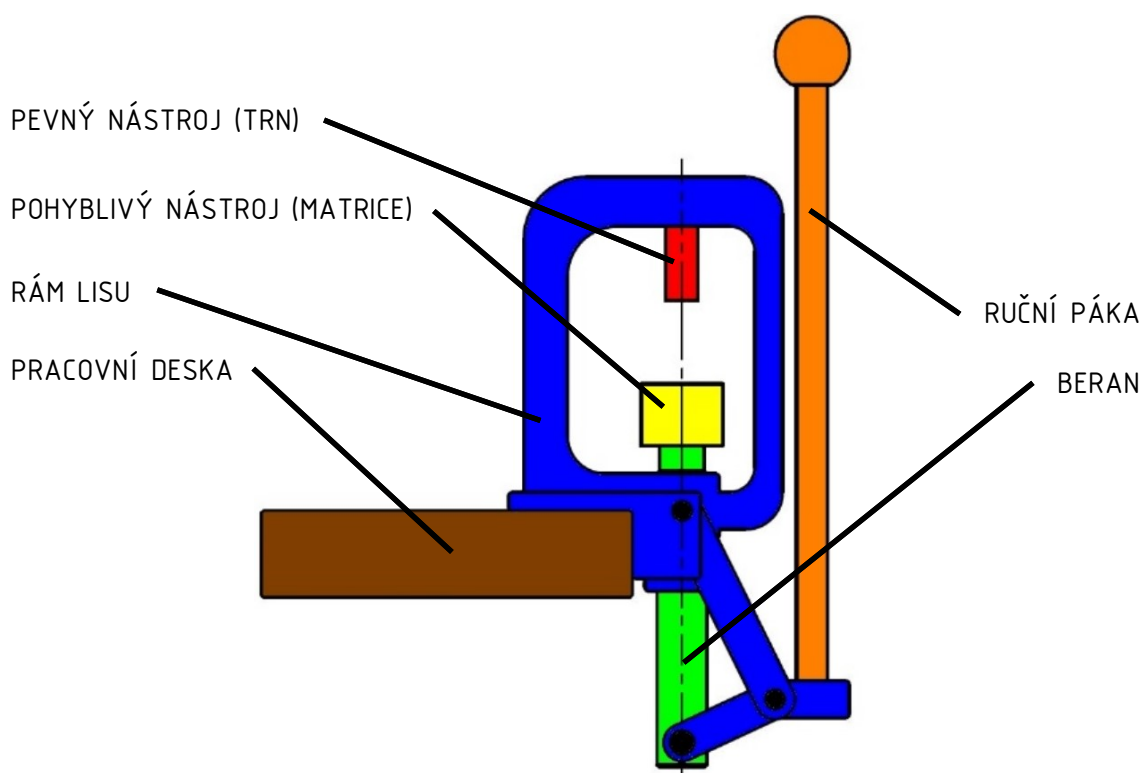


Obr. 9 Nejznámější pistolové a revolverové ráže

2. Koncept zařízení

V předchozích kapitolách jsme se seznámili s postupem průmyslové výroby střel a z těchto poznatků budeme vycházet při návrhu zařízení. Do hry vstupuje několik klíčových faktorů, které je třeba zohlednit. Je zřejmé, že se bude jednat o víceoperační mechanismus a vytvoření střely bude probíhat v několika fázích. Typickou vlastností pro střely a mechanické části zbraní je poměrně vysoká přesnost a úzká toleranční pole. Také je zde patrný nepoměr mezi technologií postupových lisů v průmyslovém zázemí a zařízením, kterým můžeme disponovat v domácích podmínkách, a to s využitím výhradně lidské síly.

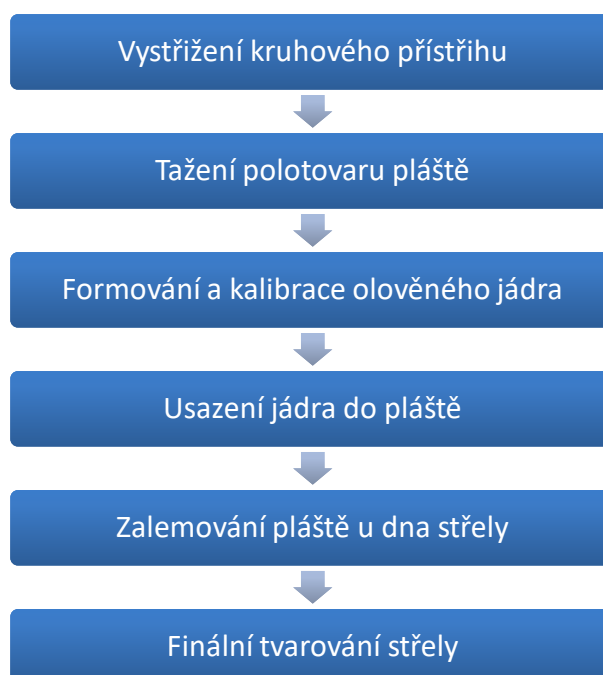
Zařízení by tedy mělo mít v rámci jistých kompromisů určité vlastnosti. Vysoká kvalita a přesnost výsledného produktu, uživatelsky přívětivá obsluha a co nejnížší počet operací a tím i počet dílů a pořizovací cena. To vše pochopitelně na úkor produktivity a časové náročnosti domácího výrobního procesu. Zařízení určená pro většinu úkonů spojených s přebíjením střeliva jsou zpravidla založeny na univerzální lisovací platformě s vyměnitelnou sadou nástrojů. Pro dosažení výše vytyčených vlastností jsem se tedy rozhodl zachovat myšlenku univerzálního robustního jednočinného ručního lisu, který je v závislosti na zvolené ráži osazen nástroji z příslušné sady, viz následující schéma.



Obr. 10 Hrubé schéma lisu

3. Volba technologického postupu

Cílem této kapitoly bude vytvoření technologického postupu ruční výroby celoplášťových střel nejpobulárnější a nejvíce využívané pistolové ráže 9 mm Luger, přičemž typická váha těchto střel je 115 gr (7,5 g) nebo 124 gr (8 g). Grain je historická jednotka hmotnosti odpovídající váze jednoho pšeničného zrna, avšak pro popis střeliva se běžně používá. Obecně lze výrobní operace rozdělit do tří základních částí. Výroba polotovaru pláště, výroba polotovaru jádra a konečně jejich vzájemné spojení a formování. Základní výrobní postup jsem znázornil na následujícím schématu.

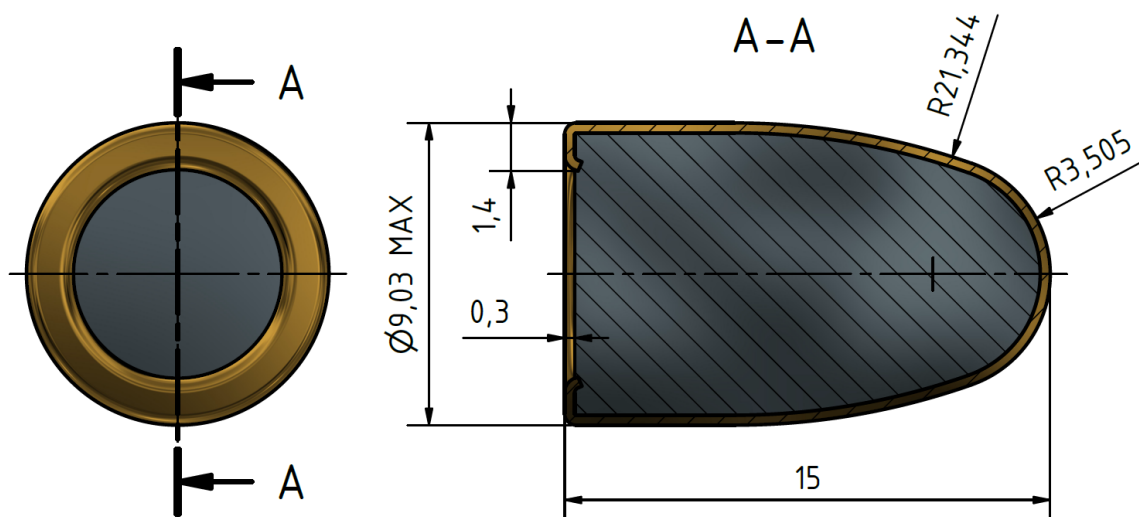


Obr. 11 Schéma výrobního postupu

3.1 Tažení kalíšku

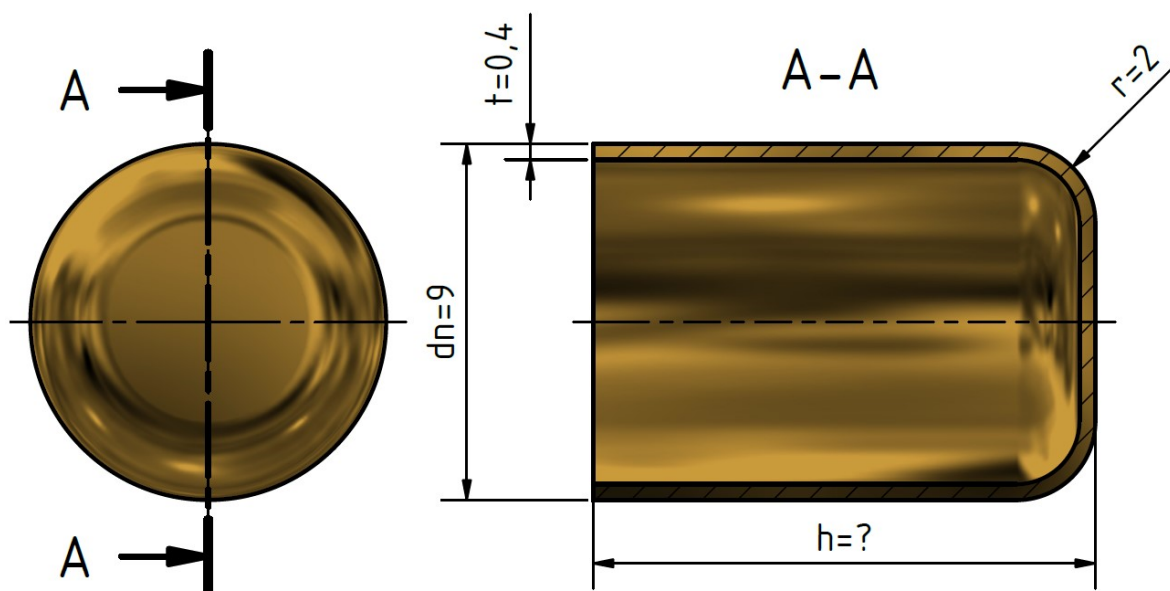
Výchozím polotovarem pro plášť střely je tažený kalíšek, přičemž nejčastějším materiálem je měď, případně tombakové slitiny CuZn10 nebo CuZn30. V závislosti na ceně a dostupnosti pásů si materiál zvolí sám uživatel. Pro zachování univerzálnosti nástrojové sady provedu výpočty pro maximální zjištěnou hodnotu meze pevnosti v tahu a nejvyšší hodnotu tažnosti z materiálůvých listů.

K provedení podrobných výpočtů tažných operací je potřeba znát rozměry výchozího polotovaru pláště. Ze standardizačního výkresu NATO a podkladů firmy Sellier & Bellot jsem vytvořil model střely, ze kterého budu vycházet.



Obr. 12 Náskres střely S&B 9 mm Luger FMJ 115 gr

Při tažení předpokládáme platnost zákona o zachování ploch při současném zanedbání změny tloušťky stěn. Nejprve je nutné vypočítat potřebnou délku kalíšku h , a to například pomocí rovnosti vnějších ploch pláště střely a kalíšku. Vnější průměr kalíšku v posledním tahu d_n a poloměr zaoblení r vychází z parametrů střely.



Obr. 13 Rozměry kalíšku

Potřebná délka kalíšku:

$$h = \frac{A_s - \frac{\pi \cdot r}{2} \cdot [\pi \cdot (d_n - 2 \cdot r) + 4 \cdot r] - \frac{\pi \cdot (d_n - 2 \cdot r)^2}{4}}{\pi \cdot d_n} + r \quad [mm] \quad (1)$$

$$h = \frac{397 - \frac{\pi \cdot 2}{2} \cdot [\pi \cdot (9 - 2 \cdot 2) + 4 \cdot 2] - \frac{\pi \cdot (9 - 2 \cdot 2)^2}{4}}{\pi \cdot 9} + 2$$

$$h = 12,7$$

$$A_s \quad [mm^2] \quad - \text{obsah vnějších ploch pláště střely (výpočet z 3D modelu)}$$

Tato délka kalíšku by měla poskytovat dostatečnou rezervu pro lem pláště na dně střely i pro její těžší variantu 124 gr. Rezervu dále nezvětšuji, jelikož operace sestřížení okrajů finálního výtažku bude záměrně vynechána, a to z důvodů snížení počtu operací. Ze známých rozměrů polotovaru lze nyní určit velikost přístřihu.

Určení velikosti přístřihu:

$$D = \sqrt{4 \cdot d_n \cdot (h - r) + 2\pi \cdot r \cdot (d_n - 2 \cdot r) + (d_n - 2 \cdot r)^2} \quad [mm] \quad (2)$$

$$D = \sqrt{4 \cdot 9 \cdot (12,7 - 2) + 2\pi \cdot 2 \cdot (9 - 2 \cdot 2) + (9 - 2 \cdot 2)^2} = 21$$

Vezmeme-li v potaz rozměry a charakter výtažku včetně materiálu a tloušťky plechu, ze kterého bude zhotoven, nabízí se možnost využití prvního tahu s jednoduchým mechanickým přidržovačem s cílem dosáhnout co nejvyšší možné redukce a tím co nejnižšího počtu tahů. Rovněž jsem zvažoval spojení vystřížení přístřihu a prvního tahu v jednu operaci, ovšem konstrukce tohoto sdruženého nástroje by byla značně komplikovaná a pro tyto účely se příliš nehodí.

Průměr výtažku po 1. tahu:

$$d_1 = D \cdot \left(1 - \frac{R_{t1max}}{100}\right) = 21 \cdot \left(1 - \frac{50}{100}\right) = 10,5 \quad [mm] \quad (3)$$

$$R_{t1max} \quad [\%] \quad - \text{maximální dosažitelná redukce v prvním tahu [1]}$$

Redukce 2. tahu potřebná pro dosažení finálního průměru:

$$R_{t2} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 = \frac{10,5 - 9}{10,5} \cdot 100 = 14,3 \leq R_{t2max} \quad [\%] \quad (4)$$

$$R_{t2} = 14,3 \leq 30$$

$$R_{t2max} \quad [\%] \quad - \text{maximální dosažitelná redukce v druhém tahu [1]}$$

Je zřejmé, že díky využití maximální možné redukce v prvním tahu zvládneme finální výtažek vytvořit ve dvou tazích, a zároveň tak využít příznivé vlastnosti přidržovače, který zabezpečí rovnoměrnou redukci bez zvlnění okrajů. Z konstrukčního hlediska by bylo použití přidržovače ve druhém tahu značně komplikované, a proto uvažuji tažidlo pro druhý tah jako jednoduché bez přidržovače.

Určení tažného poloměru tažnice pro 1. a 2. tah:

$$R_1 = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_1 + 2 \cdot t) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(21 - 10,5 + 2 \cdot 0,4) \cdot 0,4} = 1,7 \quad [mm] \quad (5)$$

Určování vhodného poloměru tažnice jak pro první, tak pro další tahy, je poměrně obtížné, jelikož doporučené hodnoty uváděné v odborné literatuře mají buď široké rozmezí, anebo mají empirické vztahy pro jeho určení (rovnice 5) omezenou použitelnost a v praxi se pro každý typ výtažku tento poloměr po předchozím testování upravuje pro dosažení optimálních vlastností tažení. Hodnotu tažného poloměru pro 2. tah R_2 , stejně jako přechodové poloměry tažníku pro oba tahy r_1 a r_2 , jsem stanovil na základě odborných konzultací ve firmě Sellier & Bellot.

Potřebná síla přidržovače:

$$F_p = S \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (d_1 + 2 \cdot r_1)^2] \cdot p \quad [N] \quad (6)$$

$$F_p = \frac{\pi}{4} \cdot [21^2 - (10,5 + 2 \cdot 1,7)^2] \cdot 1,9 = 370$$

S $[mm^2]$ - styčná plocha přidržovače a přístřihu

p $[MPa]$ - doporučený tlak přidržovače [9]

Tažná síla pro 1. a 2. tah:

$$F_{t1} = \pi \cdot (d_1 - t) \cdot t \cdot R_m \cdot \left(\frac{D}{d_1 - t} - 0,7 \right) \cdot A + F_p \quad [N] \quad (7)$$

$$F_{t1} = \pi \cdot (10,5 - 0,4) \cdot 0,4 \cdot 350 \cdot \left(\frac{21}{10,5 - 0,4} - 0,7 \right) \cdot 1 + 370 = 6497$$

R_m $[MPa]$ - mez pevnosti materiálu v tahu

A $[-]$ - součinitel pro výpočet mechanické síly tažného lisu

Jelikož v druhém tahu je použita mnohem nižší redukce a také zde není použit přidržovač, lze předpokládat, že tažná síla pro druhý tah bude nižší než pro tah první, a tudíž je z hlediska výpočtů nedůležitá. Vypočtené parametry pro oba tahy jsou pro přehlednost uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1 Parametry tažných operací

Parametr	Jednotka	1. tah		2. tah	
Velikost přístřihu	[mm]	D	21	-	-
Průměr výtažku	[mm]	d_1	10,5	d_2	9
Redukce	[%]	R_{t1}	50	R_{t2}	14,3
Tažný poloměr	[mm]	R_1	1,7	R_2	1
Poloměr tažníku	[mm]	r_1	2	r_2	1,6
Tažná vůle	[mm]	v_{t1}	0,45	v_{t2}	0,4
Síla přidržovače	[N]	F_p	370	-	-
Tažná síla	[N]	F_{t1}	6497	F_{t2}	-

3.2 Vystřížení přístřihu

Ze známého tloušťky a průměru přístřihu, který byl vypočten výše, lze nyní vypočítat parametry střížné operace.

Střížná plocha:

$$S_S = \pi \cdot D \cdot t = \pi \cdot 21 \cdot 0,4 = 26,4 \quad [\text{mm}^2] \quad (8)$$

Maximální střížná síla:

$$F_{Smax} = S_S \cdot R_{ms} \cdot k_S = 26,4 \cdot 160 \cdot 1,25 = 5280 \quad [\text{N}] \quad (9)$$

R_{ms} [MPa] - mez pevnosti ve stříhu (z materiálůvých listů)

k_S [-] - součinitel zahrnující vlivy zvyšující střížnou sílu

Střížná mezera:

$$z = c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} = 0,005 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 160} = 0,008 \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

c [-] - koeficient druhu stříhání [10]

Průměr střížnice:

$$D_S = (D + U_S)^{+p_s} = (21 + 0,008)^{+0,021} = 21,008^{+0,021} \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

U_S [mm] - dolní mezní úchylka rozměru přístřihu pro toleranci k8

p_s [mm] - přídavek na zhotovení střížnice pro stupeň přesnosti IT7

Průměr střížníku:

$$d_s = (D_s - 2 \cdot z)_{-p_k} = (21,008 - 2 \cdot 0,008)_{-0,021} = 20,992_{-0,021} \quad [mm] \quad (12)$$

p_k [mm] - přídavek na zhotovení střížníku pro stupeň přesnosti IT7

3.3 Ostatní operace

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, ruční výroba střely bude probíhat v několika fázích. První z nich je tedy vystřížení přístřihu z tombakového pásu, z něhož je následně tažen ve dvou krocích válcový kalíšek. Jedná se o běžné technologické operace a vzhledem k dostupnosti literatury popisující tuto problematiku nepředstavují výpočty s ní spojené zásadní problém.

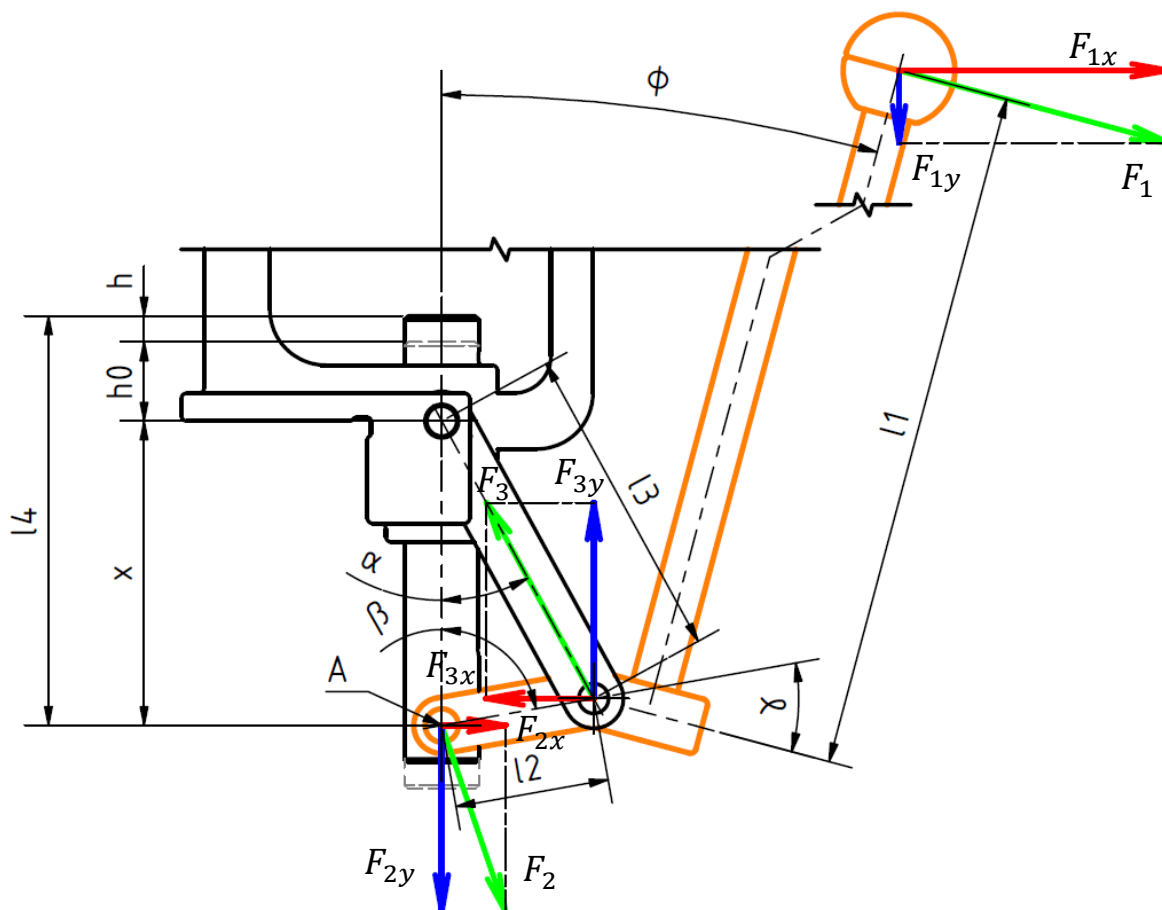
Pro následující operace již neexistuje žádný universální návod ani postup a mají tedy do jisté míry experimentální charakter, a to zvláště v rámci této práce. Navazující technologické postupy představují know-how, které se u různých výrobců může pro stejnou ráži výrazně lišit. Jako oporu při stanovování důležitých technologických parametrů jako jsou rozměry, síly apod. využiji podklady získané v rámci odborné konzultace ve firmě Sellier & Bellot. Podrobně budou tyto operace vysvětleny v dalších kapitolách.

4. Návrh konstrukce lisu

Tato kapitola čtenáře podrobně seznámí s technickým řešením jednotlivých konstrukčních uzlů a umožní tak získat úplnou představu o principu fungování celého zařízení.

4.1 Kinematický rozbor

Vzhledem k charakteru prováděných operací je nutné, aby byla konstrukce lisu značně robustní a dostatečně tuhá pro poskytnutí poměrně velkých sil při zachování přesnosti. Z tohoto důvodu konstruuji rám lisu jako litinový odlitek tvaru „O“. Tlačná síla beranu je vyvozena pákovo-klikovým mechanismem, na který působí ruční síla F_1 jejíž hodnotu jsem orientačně stanovil na 500 N. Pro optimalizaci zásadních rozměrů ovlivňujících silové poměry je nutné vyjít z kinematického rozboru, který je patrný ze schématu na obrázku níže.



Obr. 14 Kinematický rozbor lisu

Na základě tohoto schématu lze stanovit základní matematicko-geometrické vztahy a rovnice rovnováhy. Z těchto lze následně vyvodit obecné vztahy pro průběhy sil v závislosti na zvoleném parametru. Nejpraktičtější bude získat průběh síly beranu v závislosti na jeho zdvihu, ten je totiž klíčový vzhledem k prováděným operacím. Nezávislou proměnnou je tedy zdvih h a závislými proměnnými jsou úhly α a β . Základní vztahy jsou popsány rovnicemi 13 až 16.

$$x = l_3 \cdot \cos \alpha + l_2 \cdot \cos \beta \quad (13)$$

$$l_3 \cdot \sin \alpha = l_2 \cdot \sin \beta \quad (14)$$

$$x = l_4 - h_0 - h \quad (15)$$

$$\varphi = \beta + \gamma - 90 \quad (16)$$

Pro další postup je nutné vyjádřit úhel α v závislosti na úhlu β (vztah 17). Spojením vztahů 7, 9 a 11 získáme rovnici 12 pro zdvih v závislosti na úhlu β , ze které dalšími úpravami vznikne vztah 19 pro úhel β v závislosti na zdvihu.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{l_2}{l_3} \cdot \sin \beta \right) \quad (17)$$

$$h = l_4 - h_0 - l_3 \cdot \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{l_2}{l_3} \cdot \sin \beta \right) \right) + l_2 \cdot \cos \beta \quad (18)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) \quad (19)$$

Nyní je možné konečně uvolnit vybraný člen soustavy a sestavit pro něj rovnice rovnováhy. Tento člen tvořící pevný celek je ve schématu znázorněn oranžově.

$$\sum F_{ix} = 0 = F_1 \cdot \cos \left(\beta + \gamma - \frac{\pi}{2} \right) + F_{2x} - F_3 \cdot \sin \alpha \quad (20)$$

$$\sum F_{iy} = 0 = F_1 \cdot \sin \left(\beta + \gamma - \frac{\pi}{2} \right) + F_{2y} - F_3 \cdot \cos \alpha \quad (21)$$

$$\sum M_{iA} = 0 = F_1 \cdot (l_1 + l_2 \cdot \cos(90 - \gamma)) - F_3 \cdot l_2 \cdot \cos(\beta - (90 - \alpha)) \quad (22)$$

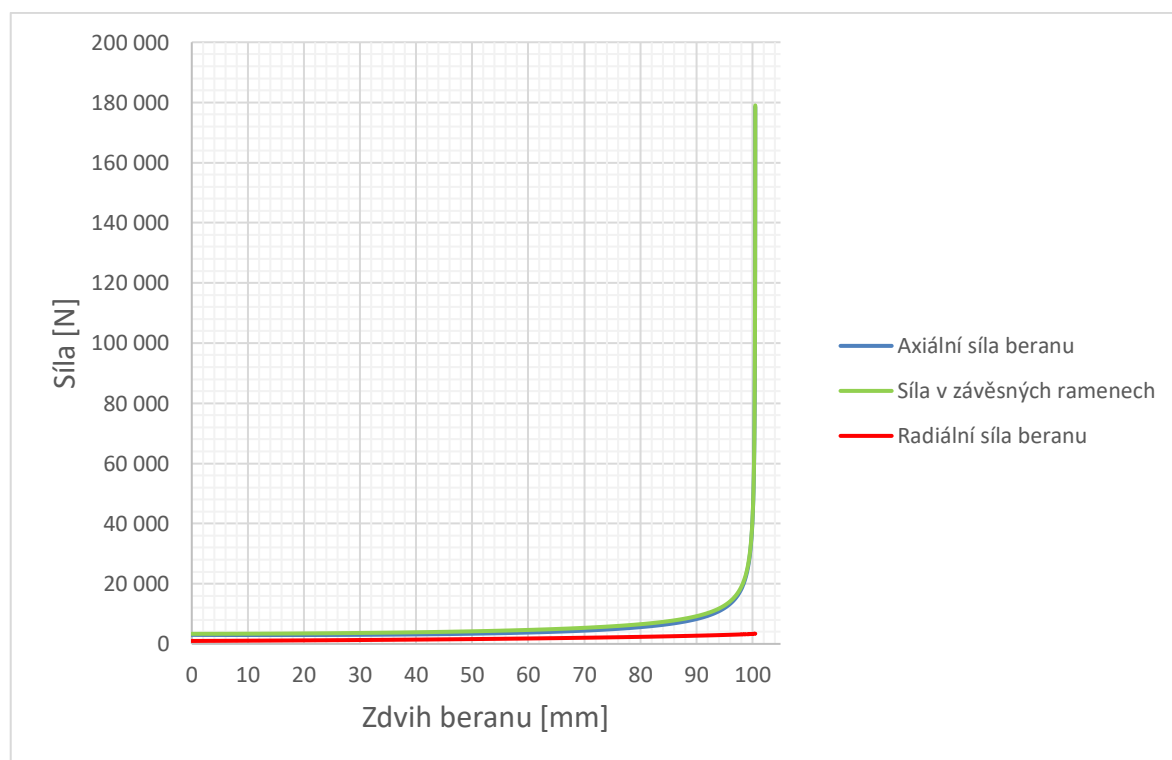
Postupnými úpravami jsem z rovnic rovnováhy 20 až 22 sestavil vztahy pro jednotlivé hledané síly v závislosti na zdvihu z nichž ta nejdůležitější je axiální síla beranu F_{2y} .

$$F_3 = \frac{F_1 \cdot (l_1 + l_2 \cdot \sin \gamma)}{l_2 \cdot \cos \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) - \left(\frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left(\frac{l_2}{l_3} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) \right) \right) \right) \right)} \quad (23)$$

$$F_{2y} = F_3 \cdot \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{l_2}{l_3} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) \right) \right) \right) - F_1 \cdot \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) + \gamma - \frac{\pi}{2} \right) \quad (24)$$

$$F_{2x} = F_3 \cdot \left(\frac{l_2}{l_3} \cdot \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) \right) \right) - F_1 \cdot \cos \left(\cos^{-1} \left(\frac{l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - h_0 - h)^2}{2 \cdot l_2 \cdot (l_4 - h_0 - h)} \right) + \gamma - \frac{\pi}{2} \right) \quad (25)$$

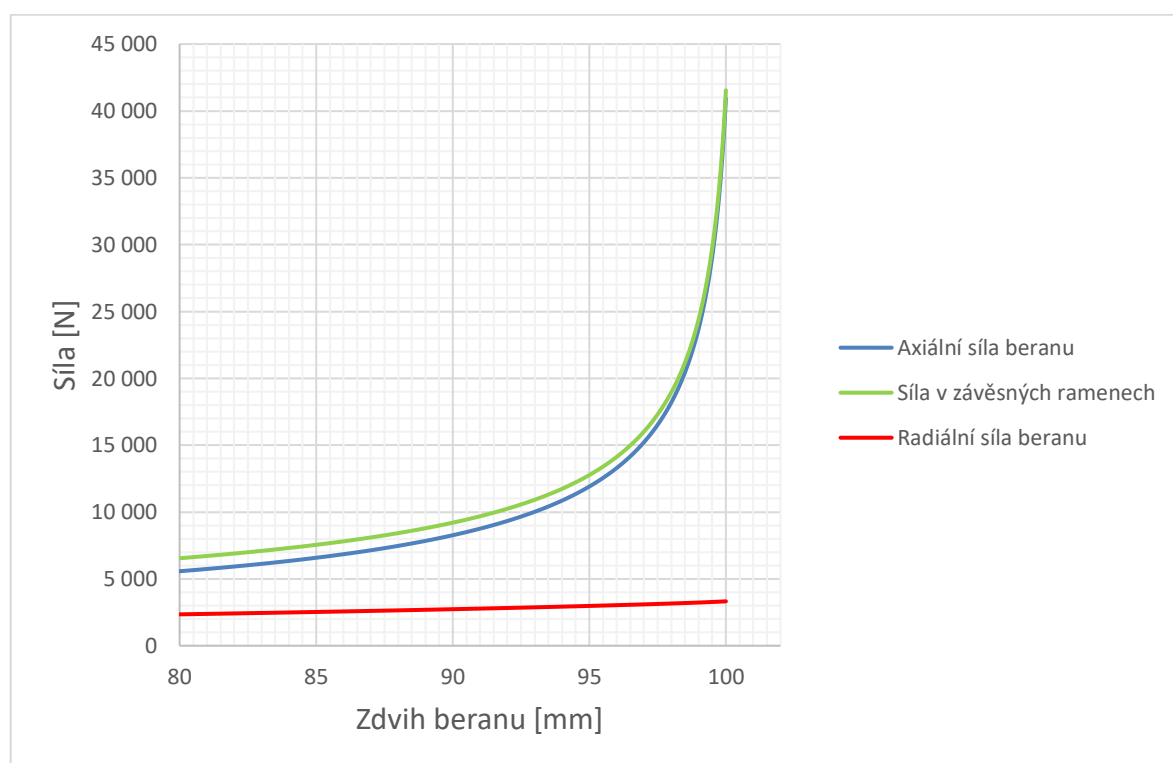
Na základě vztahů 23 až 25 jsem vytvořil výpočetní sešit programu Microsoft Excel a vytvořil grafy průběhu sil. Pro dané účely lis nepotřebuje příliš velký zdvih, a tak jsem jeho maximální hodnotu stanovil na 100 mm a ostatní parametry jsem následně v mnoha krocích optimalizoval pro dosažení co nejlepších výsledků. Nutno podotknout, že pasivní odpory, jako například momenty čepového tření a odpor beranu v prizmatickém vedení zanedbávám, jelikož přesnější výpočet je vzhledem k nepřesným vstupním údajům irelevantní. Řeč je o ruční síle F_1 , jejíž reálná hodnota se v průběhu zdvihu mění a nelze ji ani předvídat, ani přesně stanovit a závisí do značné míry na uživateli, který tak může pasivní odpory vykompenzovat tím, že zkrátka trochu více přitlačí.



Obr. 15 Graf průběhu sil v závislosti na zdvihu.

Z podstaty zvoleného mechanismu jasně plyne, že určit jeho maximální dosažitelnou sílu nelze. Z grafu na obrázku 15 je patrné, že reakční síly v závěsných ramenech a síla beranu se v grafu prakticky překrývají. V konečné poloze, kdy se osy kloubů nacházejí ve stejné rovině, je rameno páky nekonečně malé, a tudíž síla vyvolaná pákou nekonečně velká. Dorazem by bylo možné vymezit krajní polohu tak, aby se mechanismus zastavil těsně před dosažením limitní polohy, tedy překrytí os kloubů. Této poloze by tak odpovídala reálná hodnota síly. Ovšem v blízkosti krajní polohy je růst síly natolik strmý, že faktory jako tuhost soustavy, výrobní tolerance, tření atd. určení reálné hodnoty síly znemožňují.

Klíčové je navrhnout mechanismus tak, aby v pracovním úseku zdvihu beranu zajistil dostatečnou sílu pro danou operaci. Mechanismus je tedy rozumnější z hlediska namáhání s dostatečnou rezervou dimenzovat na maximální sílu, která je pro prováděné operace potřebná. Její strop jsem stanovil na 50 kN, aby mohl lis čelit vyšším silovým požadavkům při výrobě střel větších ráží. Pokud graf omezíme na pracovní část zdvihu, dostaneme spektrum dostupné síly lisu v závislosti na poloze beranu a jednotlivé operace můžeme ve spektru přemístit vhodnou úpravou axiálních rozměrů nástrojů. Pracovní oblast zdvihu, ve které bude síla využita, uvažuji v rozmezí 80 až 100 mm, čemuž odpovídá sklon ruční páky φ v rozsahu 60° až 115° , což je z ergonomického hlediska pro uživatele nejpříznivější.



Obr. 16 Graf průběhu sil v pracovní části zdvihu

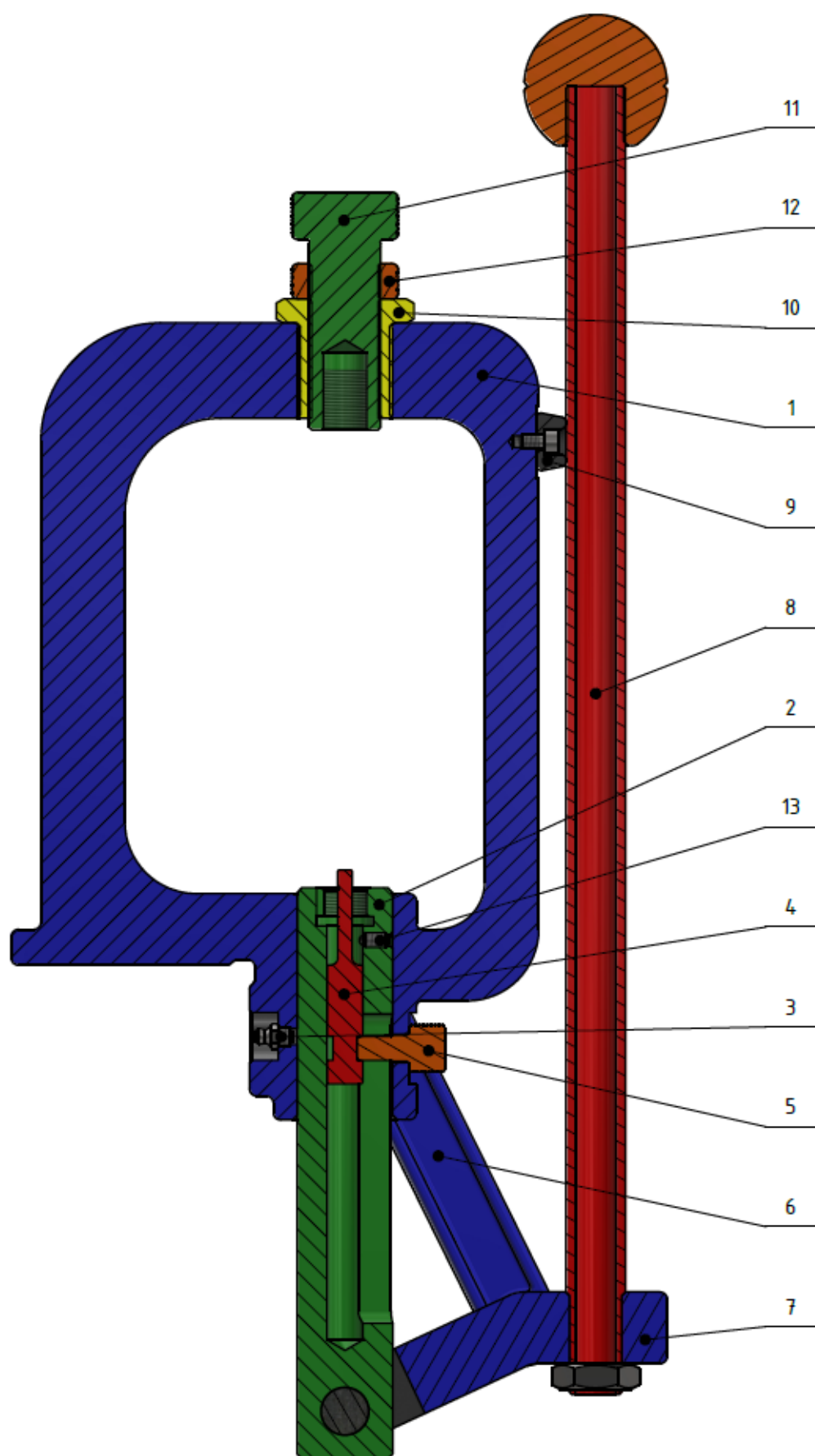
4.2 Konstrukční řešení

Nyní se podrobně podíváme na konstrukční řešení lisu. Jeho základní části jsou znázorněny na obrázku č. 17. Srdcem celého lisu je robustní litinový rám (1) ve tvaru „O“ jehož konstrukce je kompromisem mezi nízkou hmotností a dostatečnou tuhostí. Hlavním činným prvkem je mohutný beran (2), který je uložen v kluzném vedení ve spodní části rámu a jeho mazání je zajišťováno pomocí maznice (3). Beran je opatřen podélnou drážkou a vnitřním otvorem, ve kterém je staticky umístěn odnímatelný vyhazovač (4) určený pro některé z operací a je zajištěn pojistným šroubem (5). Pákový mechanismus vyvozujiící axiální sílu beranu sestává ze dvou závěsných ramen (6) a ramena reakčního (7). Vzájemné pohyblivé propojení těchto prvků je řešeno pomocí kluzných čepových spojů. Do reakčního ramene je vsunuta ruční páka (8) upevněná pomocí matice. Krajní polohy páky jsou vymezeny na počátku gumovým dorazem (9) a na konci vzájemným dotykem závěsných ramen a rámu.

Jelikož je během práce nutné nástroje často měnit, bylo třeba vymyslet důmyslný univerzální upínací systém, který zaručí jejich rychlou, pohodlnou a snadnou výměnu. Pokud by se nepohyblivé nástroje upínaly do otvoru v horní části rámu přímo, jeho závit by se jejich opakovanou výměnou a neustálým nastavováním axiální polohy rychle opotřeboval. Tento problém je vyřešen závitovou vložkou (10), která je v tomto otvoru upevněna, a v případě opotřebení postačí její výměna. Samotný nástroj se pak vkládá do spodní části redukce s jemným závitem (11) se stavitelnou polohou, která se zajistí kontra maticí (12).

Upínání pohyblivých nástrojů do beranu je řešeno dvojím způsobem. Nástroje pro stříh a tažení jsou upnuty bajonetovým systémem tvořeným kolíkem na adaptéru nástroje a vnitřními drážkami beranu, který je navíc opatřen aretačním šroubem s odpruženou kuličkou (13). Ostatní nástroje, u nichž není vyžadována přesná poloha natočení, se do beranu upínají jednoduše pomocí závitů. Upínací a zajišťovací prvky jsou ovládány výhradně ručně bez nutnosti nástrojového utahování a jsou opatřeny kosoúhlým rýhováním pro pohodlnou manipulaci.

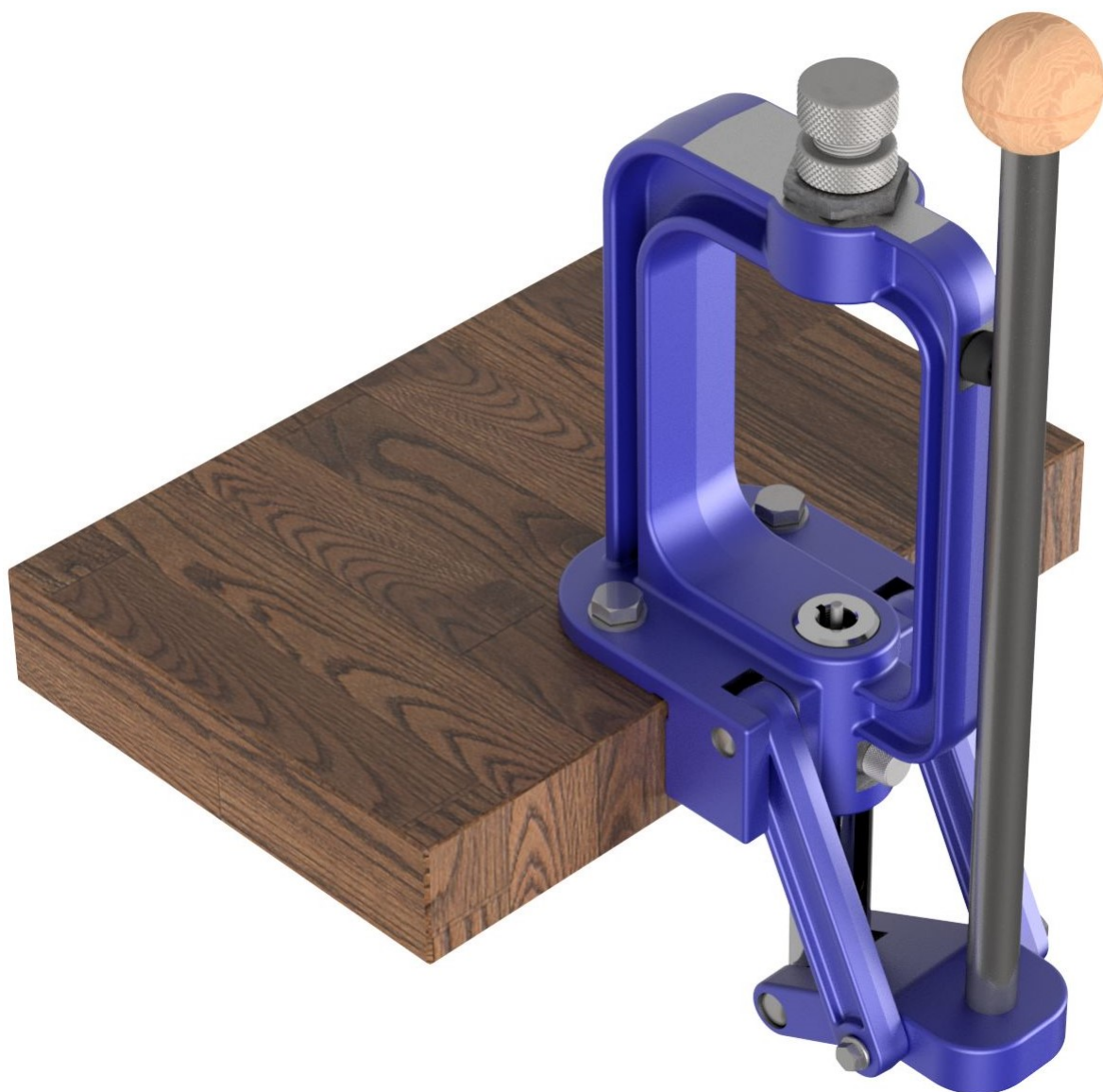
Rám lisu je k pracovní podložce upevněn pomocí dvou šroubů. Uspořádání komponent, jejich fungování a další technické prvky lisu jsou nejlépe patrné z obrázku 18. Finální podoba základní varianty lisu bez nástrojů je znázorněna na obrázcích 19 a 20.



Obr. 17 Konstrukční řešení lisu



Obr. 18 Vyobrazení lisu v rozpadu



Obr. 19 Finální podoba lisu (pohled shora)



Obr. 20 Finální podoba lisu (pohled z boku)

4.3 Kontrola namáhání součástí

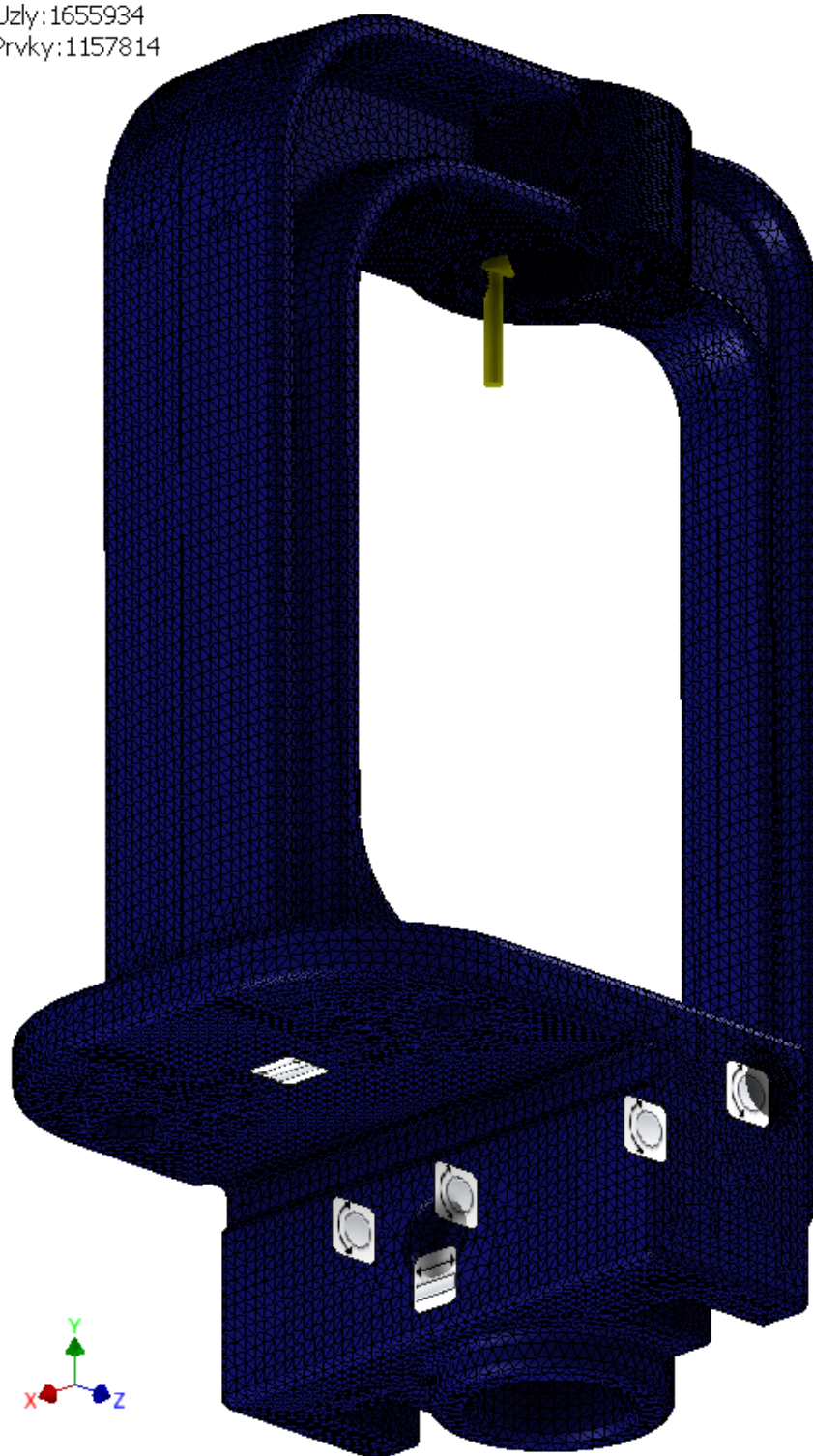
Ze všech součástí lisu podléhají pracovnímu zatížení čtyři kritické prvky, které je třeba podrobit kontrole, a sice litinový rám, čepové spoje, ruční páka a beran. Uvážím-li rozměry beranu a fakt, že téměř polovina jeho délky je umístěna v prizmatickém vedení, nepředpokládám možnost ztráty stability tvaru, a nebudu tak provádět kontrolu beranu na vzpěr. Ruční páku, která je za účelem úspory hmotnosti zhotovena z bezešvé, za studena tažené trubky DIN EN 10305, zkontroluji na ohyb.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{od} \quad [MPa] \quad (26)$$
$$\sigma_o = \frac{F_1 \cdot l_1}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} = \frac{500 \cdot 522}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{25^4 - 17^4}{25}} = 216,4 \leq 250$$

σ_o	[MPa]	- napětí v ohybu
σ_{od}	[MPa]	- dovolené napětí v ohybu pro materiál trubky 11 600
M_o	[Nmm]	- ohybový moment
W_o	[mm ³]	- ohybový modul průřezu
D	[mm]	- vnější průměr trubky
d	[mm]	- vnitřní průměr trubky

Rám je navržen nejen na základě poznatků získaných z rešerše a odborných konzultací, ale také na základě odhadů a citu s přihlédnutím k atraktivnímu designu. Proto se zde s výhodou nabízí možnost analyzovat tuto součást pomocí MKP. Pro tento účel jsem využil systémového prostředí programu Autodesk Inventor 2021. Stěžejní vlastností je zachování souososti prizmatického vedení a upínacího otvoru. Z toho hlediska je klíčová axiální síla F_{2y} , kterou jsem zavedl na závitovou plochu upínacího otvoru v horní části. Tato síla dosahuje nejvyšších hodnot v blízkosti koncové krajní polohy a vyvoluje opačnou reakci v čepech závěsných ramen. V plochách čepových otvorů jsem tedy vytvořil reakční čepové vazby. Na plochy, které se při upevnění rámu dotýkají pracovní podložky, jsem umístil vazby podpůrné. Provedl jsem velmi jemné síťování s lokálním zjemněním v kritických místech a přechodech. Výchozí model pro analýzu je na následujícím obrázku 21.

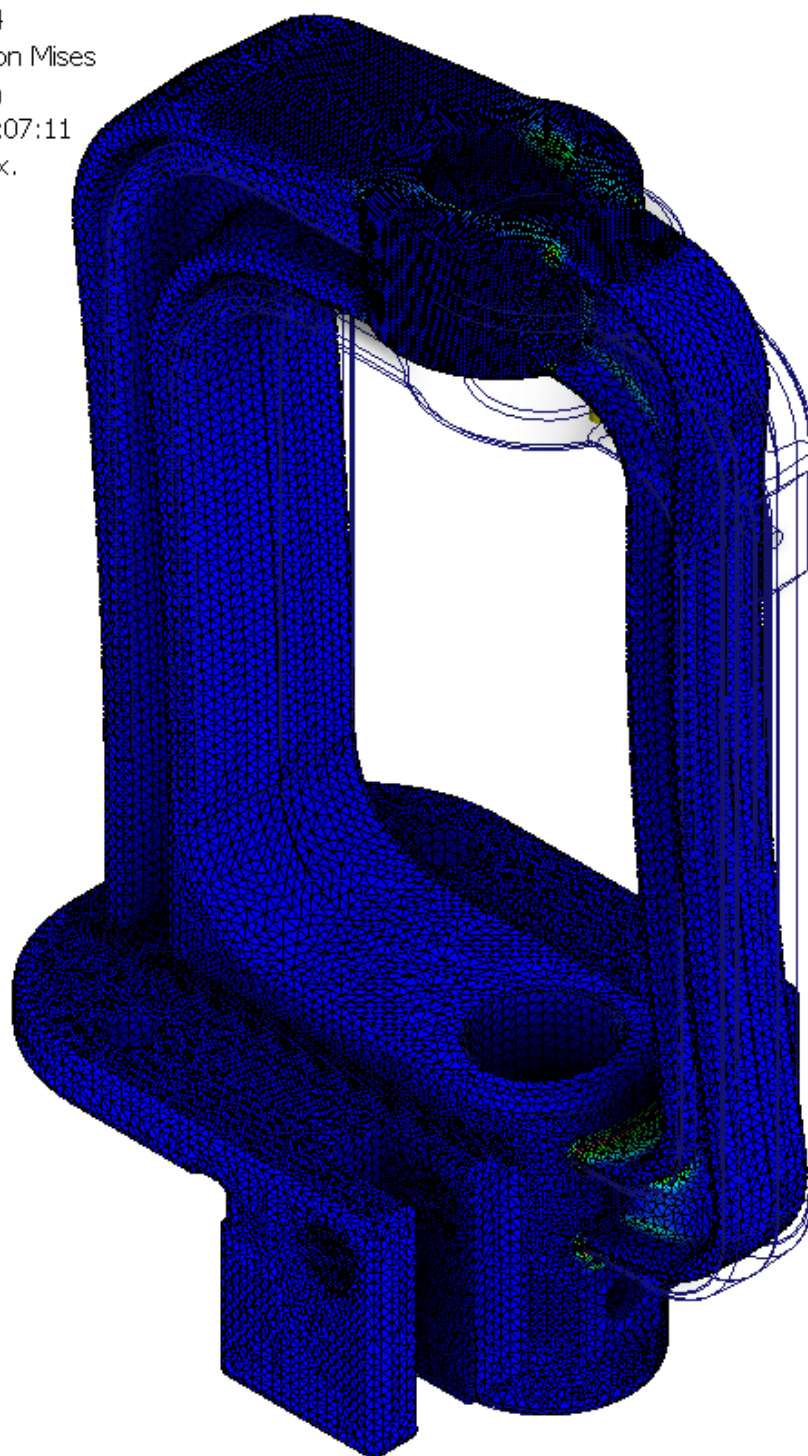
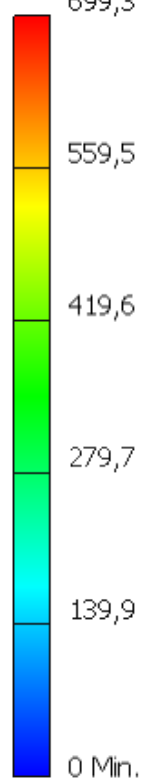
Uzly:1655934
Prvky:1157814



Obr. 21 Výpočtový model pro MKP analýzu

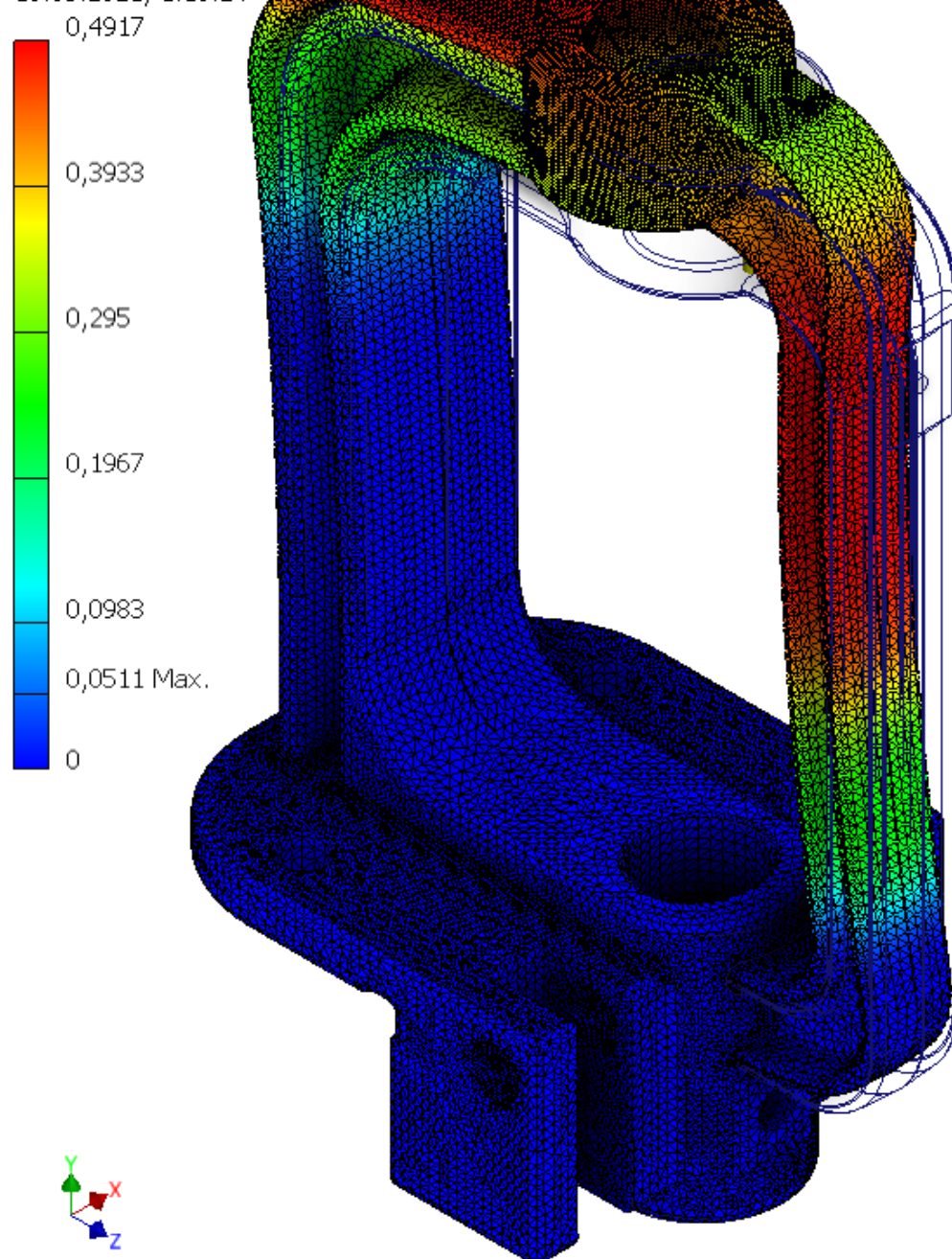
Výsledky analýzy jsou na obrázcích 22 a 23. Pokud pomineme napěťové špičky v přechodech, rám je z hlediska napětí vyhovující. Co se deformace týče, zajímá nás zejména odchýlení v ose z, které při maximální síle 5 tun činí méně než 0,5 mm, což považuji za přijatelné.

Uzly:1655934
Prvky:1157814
Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
16.05.2021, 1:07:11
699,3 Max.



Obr. 22 Výsledky analýzy (napětí Von Mises)

Uzly:1655934
Prvky:1157814
Typ: Posunutí Z
Jednotka: mm
16.05.2021, 1:10:24



Obr. 23 Výsledky analýzy (deformace v ose z)

Pracovnímu zatížení jsou rovněž vystaveny čepové spoje. Zvolil jsem povrchově kalené, broušené čepy DIN 6325 m6, které umožní kvalitní kluzné spojení s minimálními vůlemi. Tento typ čepů se kontroluje na stříh a otláčení vidlice.

Kontrola čepů závěsných ramen:

$$\tau_s = \frac{\frac{F_{2y\max}}{2}}{2 \cdot S} \leq \tau_{sd} \quad [MPa] \quad (27)$$

$$\tau_s = \frac{\frac{F_{2y\max}}{2}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{F_{2y\max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{50000}{\pi \cdot 16^2} = 62,2 \leq 150$$

$$p = \frac{\frac{F_{2y\max}}{2}}{d \cdot a} \leq p_d \quad [MPa] \quad (28)$$

$$p = \frac{F_{2y\max}}{2 \cdot d \cdot a} = \frac{50000}{2 \cdot 16 \cdot 20} = 78,1 \leq 80$$

Kontrola čepu beranu:

$$\tau_s = \frac{F_{2y\max}}{2 \cdot S} \leq \tau_{sd} \quad [MPa] \quad (29)$$

$$\tau_s = \frac{F_{2y\max}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{2 \cdot F_{2y\max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{2 \cdot 50000}{\pi \cdot 20^2} = 79,6 \leq 150$$

$$p = \frac{F_{2y\max}}{d \cdot a} \leq p_d \quad [MPa] \quad (30)$$

$$p = \frac{50000}{20 \cdot 40} = 78,1 \leq 80$$

τ_s	[MPa]	- napětí ve stříhu
τ_{sd}	[MPa]	- dovolené napětí ve stříhu pro DIN 6325
S	[mm ²]	- střížná plocha
d	[mm]	- průměr čepu
p	[MPa]	- měrný tlak
p_d	[MPa]	- dovolený měrný tlak pro materiál vidlice
a	[mm]	- kritická šířka vidlice

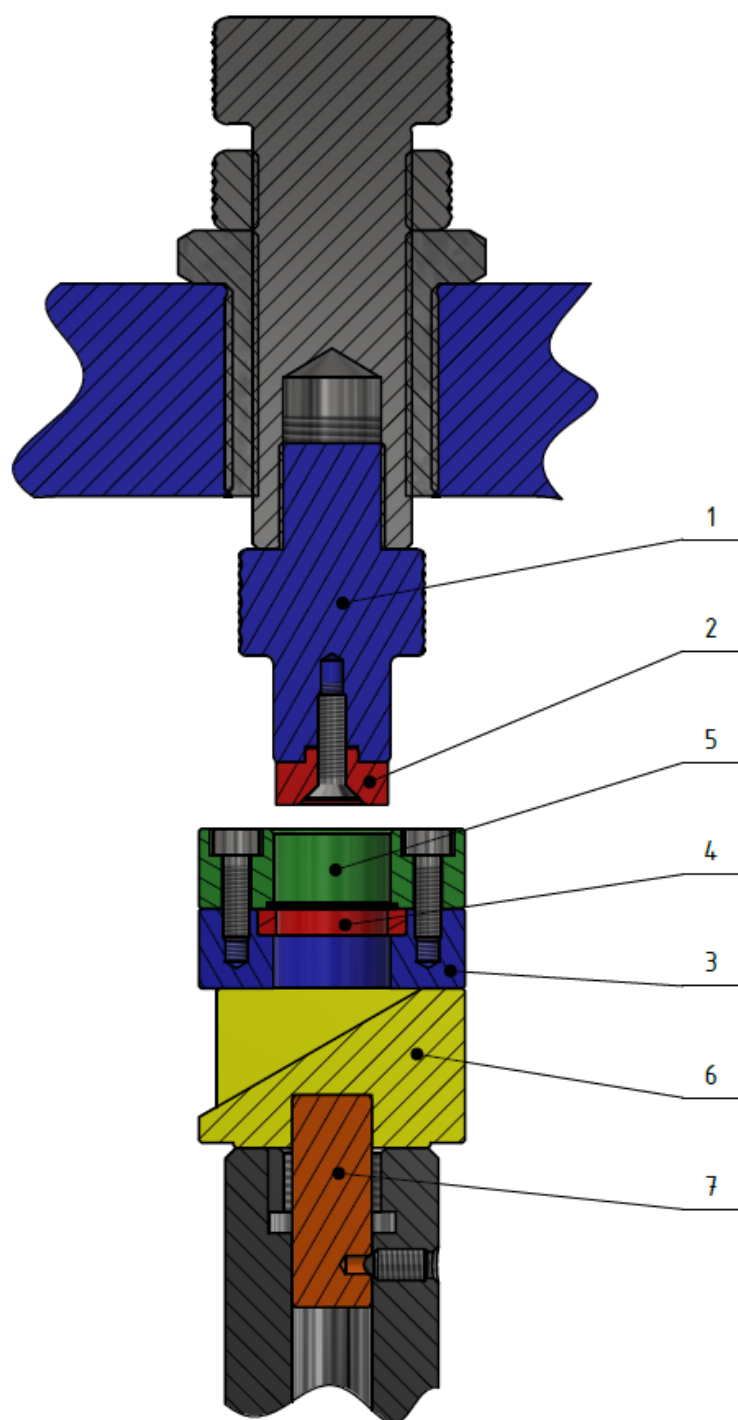
5. Konstrukce nástrojové sady

Návrh lisu je již kompletní a nyní se můžeme pustit do konstruování sady nástrojů určených pro výrobu střel ráže 9 mm Luger. Aby měl čtenář lepší představu o průběhu operací a fungování jednotlivých nástrojů, pro každou nástrojovou dvojici a její komponenty vytvořím podrobný popis odkazující se na obrázek schématu v řezu a zobrazení sestavy v rozpadu. Následovat bude vyobrazení reálné podoby operace a výsledného produktu.

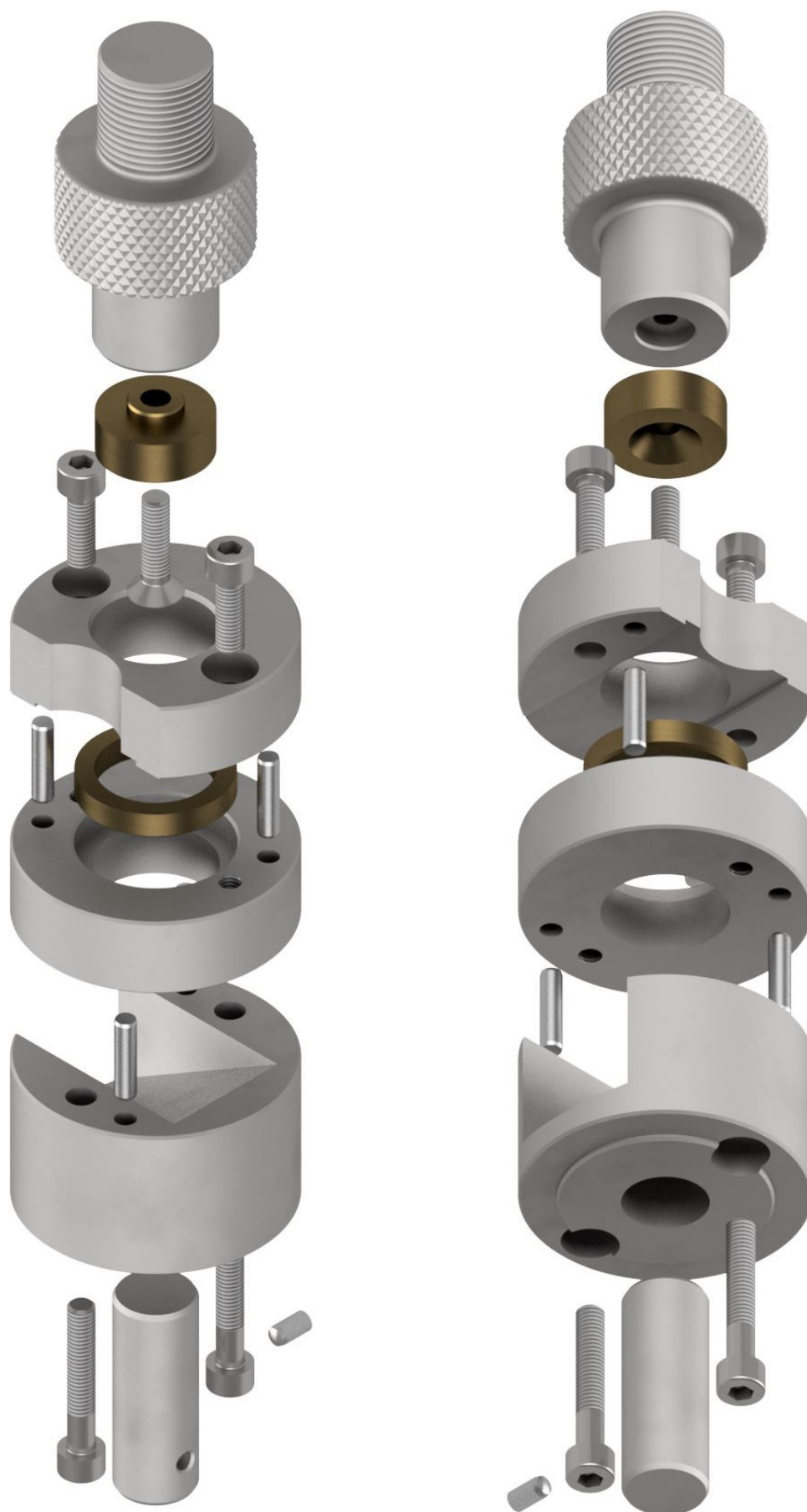
5.1 Střižník a střižnice

První operací je vystřižení kruhového přístřihu z tombakového pásu. Střižník je v tomto případě statickým členem a vkládá se do závitové redukce v horní části lisu. Střižnice je pohyblivá a upíná se do beranu.

Dle obrázku 24 a 25, sestává střižník z těla (1), které má v horní části závit pro upevnění, dále válcovou část s rýhováním pro pohodlné ruční utažení, na kterou navazuje dřík, na jehož konci je šroubem upevněna karbidová vložka (2) se středícím osazením, která umožňuje dosažení dlouhé životnosti, precizního střihu a v případě opotřebení i výměny. K tělu střižnice (3) taktéž s karbidovou vložkou (4) jsou z obou stran pomocí šroubů připevněny dva prvky. Horní díl (5) obsahuje vstupní otvor pro střižník a vodící drážku pro tombakový pás. Pro dosažení hospodárnosti se posuv pásu po každém střihu provádí tak, aby se okraj poslední vystřižené díry překrýval s okrajem svislého kruhového vybrání, které slouží jako mustr. Ve spodním dílu (6) je zalisován adaptér (7) s bajonetem pro upnutí do beranu. Beran během zdvihu tlačí do opěrného osazení spodního dílu, ve kterém je rovněž zhotoven odváděcí otvor pro výstřižky. Vystředění horního i spodního dílu je řešeno středícími kolíky.



Obr. 24 Konstrukce střížných nástrojů



Obr. 25

Vyobrazení střížných nástrojů v rozpadu



Obr. 26 Operace stříhání a výsledný produkt

5.2 Tažidlo pro 1. tah

Jak znázorňují obrázky 28 a 29, tažidlo je tvořeno statickým tažníkem (1) z nástrojové oceli, který je opatřen přidržovacím mechanismem tvořeným přidržovačem (2), upínací maticí (3) a tlačnou pružinou (4), které je v těchto dvou součástech zalisovaná. Matice zároveň umožňuje jemnou regulaci přitlaku v případě, že příliš malá, nebo naopak velká přitlačná síla má za následek produkci zmetků. Další částí tažidla je tažnice (5) s karbidovou vložkou (6) s vybráním pro usazení přístřihu (8). Otvor vložky je zakončen ostrou hranou, o kterou se výtažek (11) po odpružení okrajů stírá při zpětném pohybu. Vložka je k tažnici upevněna upínacím kroužkem (7). Spodní část (9) se zalisovaným adaptérem (10) je stejná jako v případě střižnice.

Tlačnou pružinu přidržovače jsem vytvořil pomocí návrháře programu Autodesk Inventor 2021. Vstupní parametry pro návrh pružiny jsou na obrázku 25. Potřebná přitlačná síla vypočtená v kapitole 3.1 zde figuruje jako „Pracovní zatížení“. Výsledky návrhu jsou uvedeny v tabulce.

Generátor komponent tlačných pružin

Návrh Výpočet

Pevnostní výpočet pružiny

Návrh tlačné pružiny

Možnosti výpočtu

Typ návrhu

F, D --> d, L₀, n, rozměry sestavy

Metoda korekce křivky napětí

Bez korekce

Návrh montážních rozměrů

Délka při max. zatížení L_g je určena

Zatížení

Min. zatížení F₁ 100 N

Max. zatížení F₈ 400 N

Pracovní zatížení F 370,000 N

Rozměry

Průměr drátu d 3,350 mm

Vnější průměr D₁ 30 mm

Délka volné pružiny L₀ 62,603 mm

Závity pružiny

Zaokrouhlování počtu závitů 1/4

Činné závity n 5,000 ul

Materiál pružiny

Vlastní

Mez pevnosti v tahu σ_{ult} 1860,000 MPa

Dovolené napětí v krutu τ_A 930,000 MPa

Modul pružnosti ve smyku G 68500,000 MPa

Hustota ρ 7850 kg/m³

Součinitel využití materiálu us 0,900 ul

Kontrola vzpěrného vybočení

Typ pružiny

Vedené uložení – rovnoběžně obrobené dosedací plochy

Dynamické zatížení

Nekuličkové pružiny

Životnost pružiny v tisících průhybů N >10000

Součinitel bezpečnosti k_f 1,200 ul

Montážní rozměry pružiny

H, L₁ --> L_g

Délka při min. zatížení L₁ 53,827 mm

Délka při max. zatížení L_g 27,5 mm

Pracovní zdvih H 26,327 mm

Délka při pracovním zatížení L_w 30,133 mm

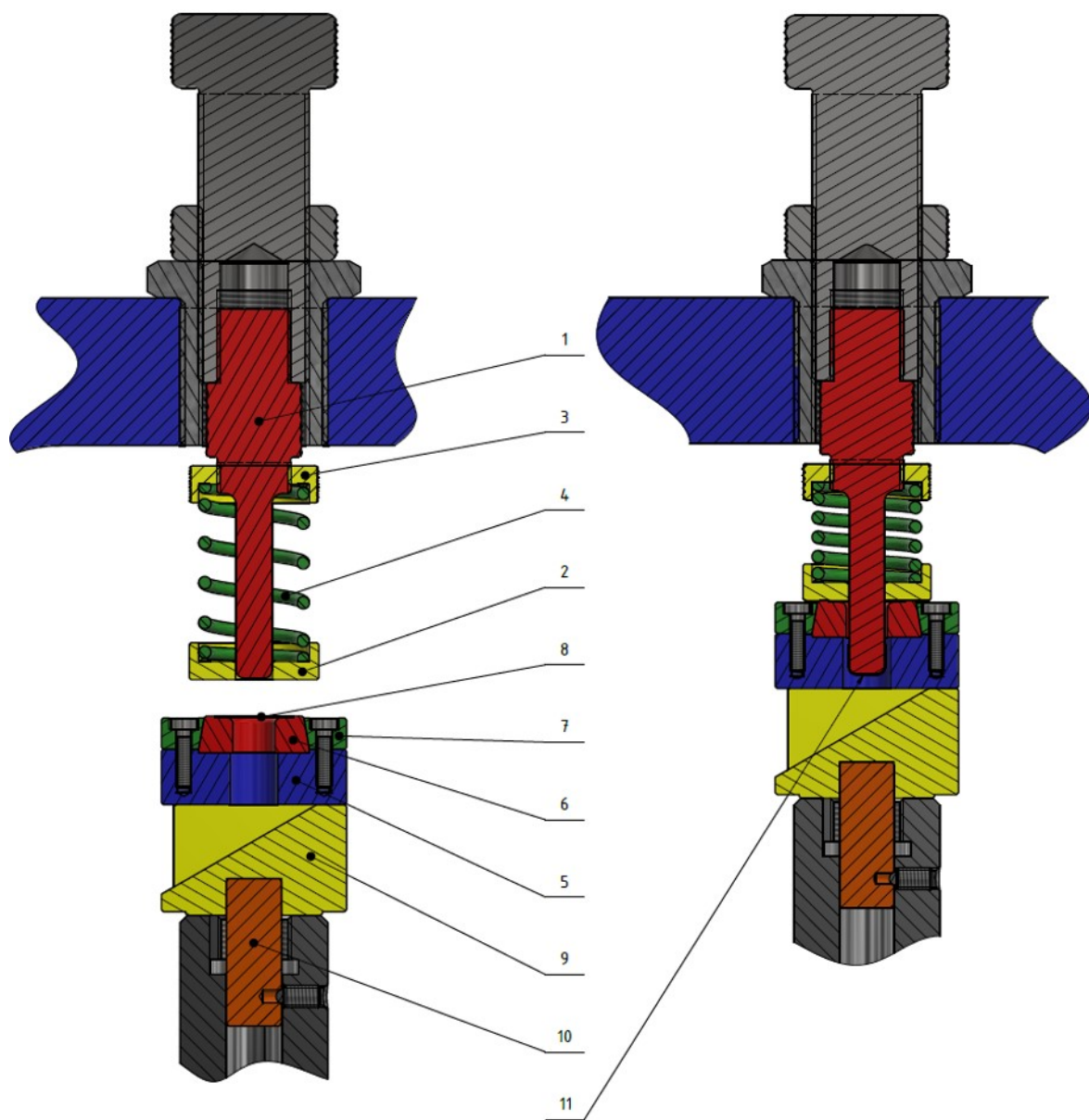
23:22:14 Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat OK Storno >>

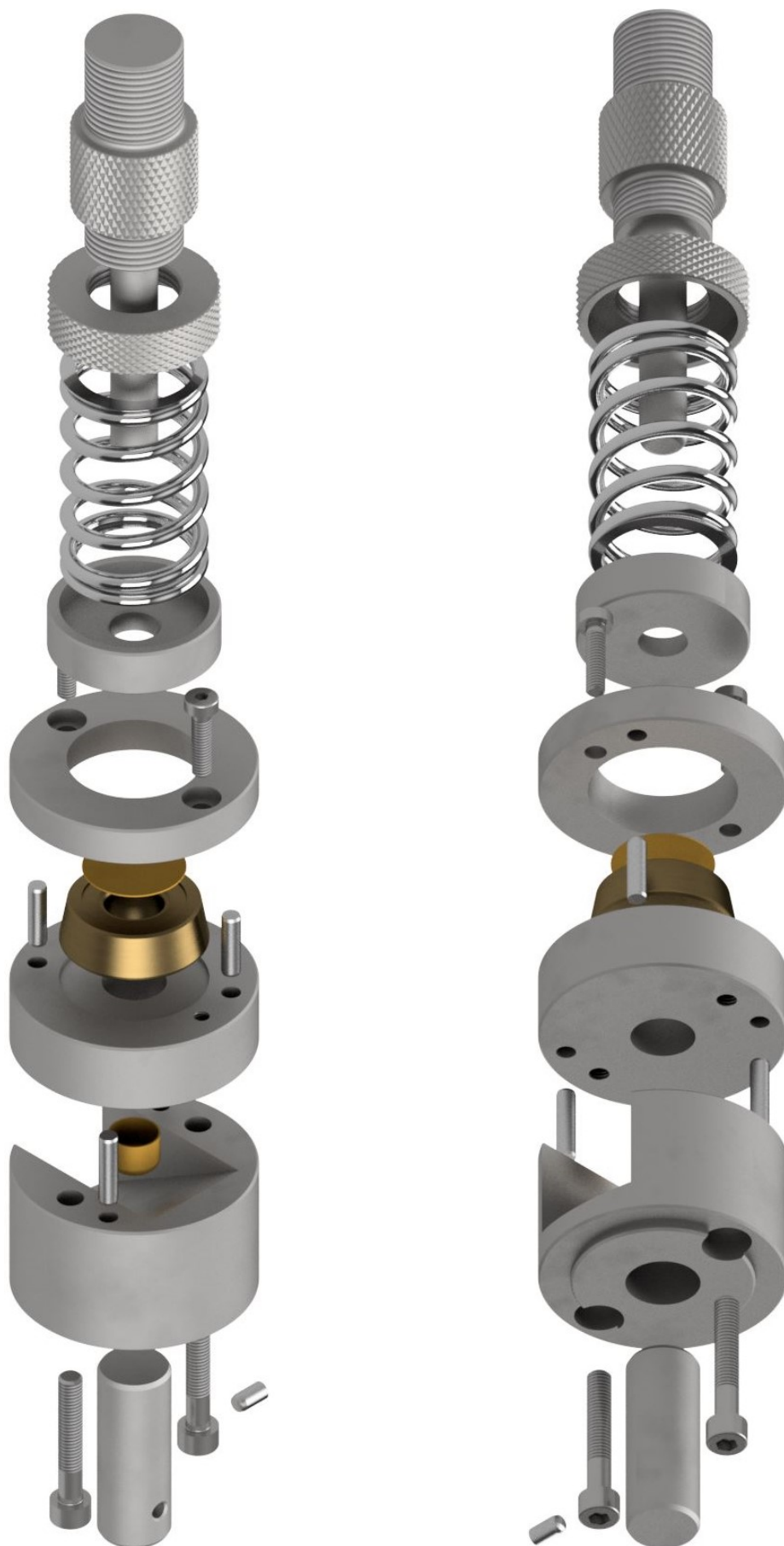
Obr. 27 Vstupní parametry návrhu tlačné pružiny

Tab. 2 Výsledky návrhu pružiny

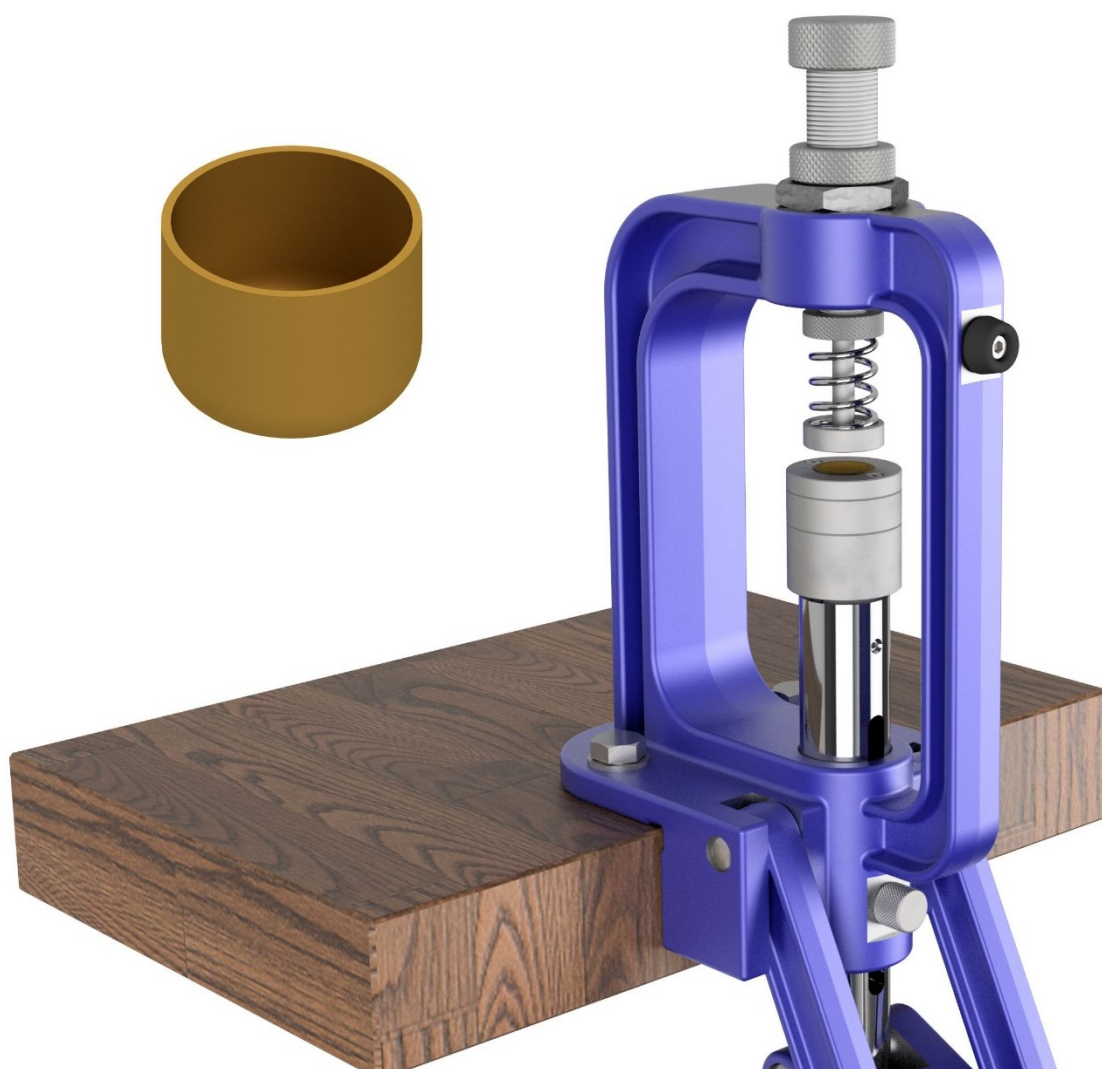
Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Délka volné pružiny	L_0	[mm]	62,6
Délka při pracovním zatížení	L_1	[mm]	30,1
Délka při maximálním zatížení	L_g	[mm]	27,5
Pracovní zdvih	H	[mm]	26,3
Průměr drátu	d	[mm]	3,350
Délka drátu	l	[mm]	597
Vnější průměr pružiny	D_1	[mm]	30
Střední průměr pružiny	D	[mm]	26,65
Vnější průměr pružiny	D_2	[mm]	23,3
Počet vinutí	c	[–]	7,955
Činné závity	n	[–]	5
Tuhost pružiny	k	[N/mm]	11,4



Obr. 28 Konstrukce tažidla pro 1. tah



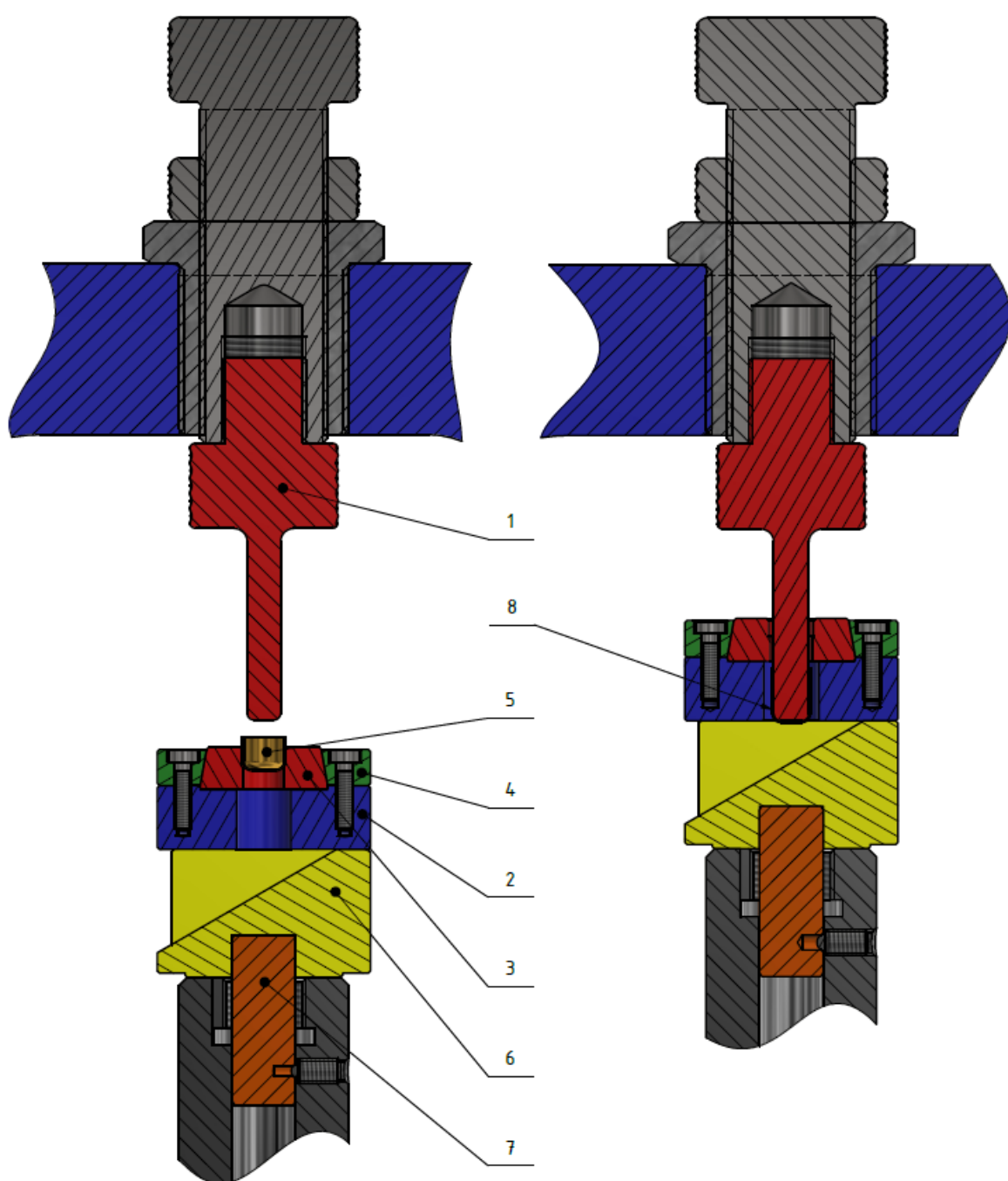
Obr. 29 Vyobrazení tažidla 1. tahu v rozpadu



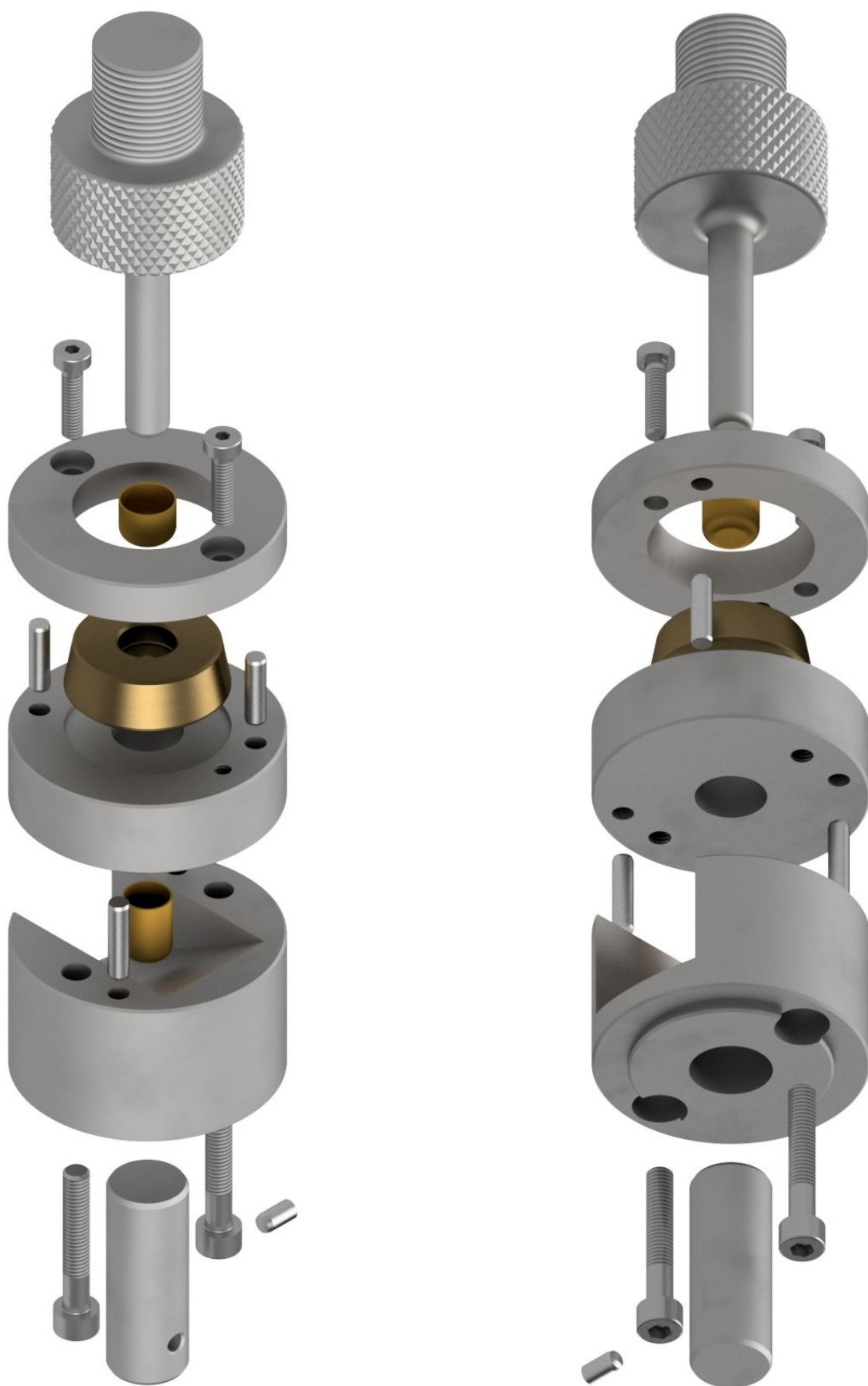
Obr. 30 Operace 1. tahu

5.3 Tažidlo pro 2. tah

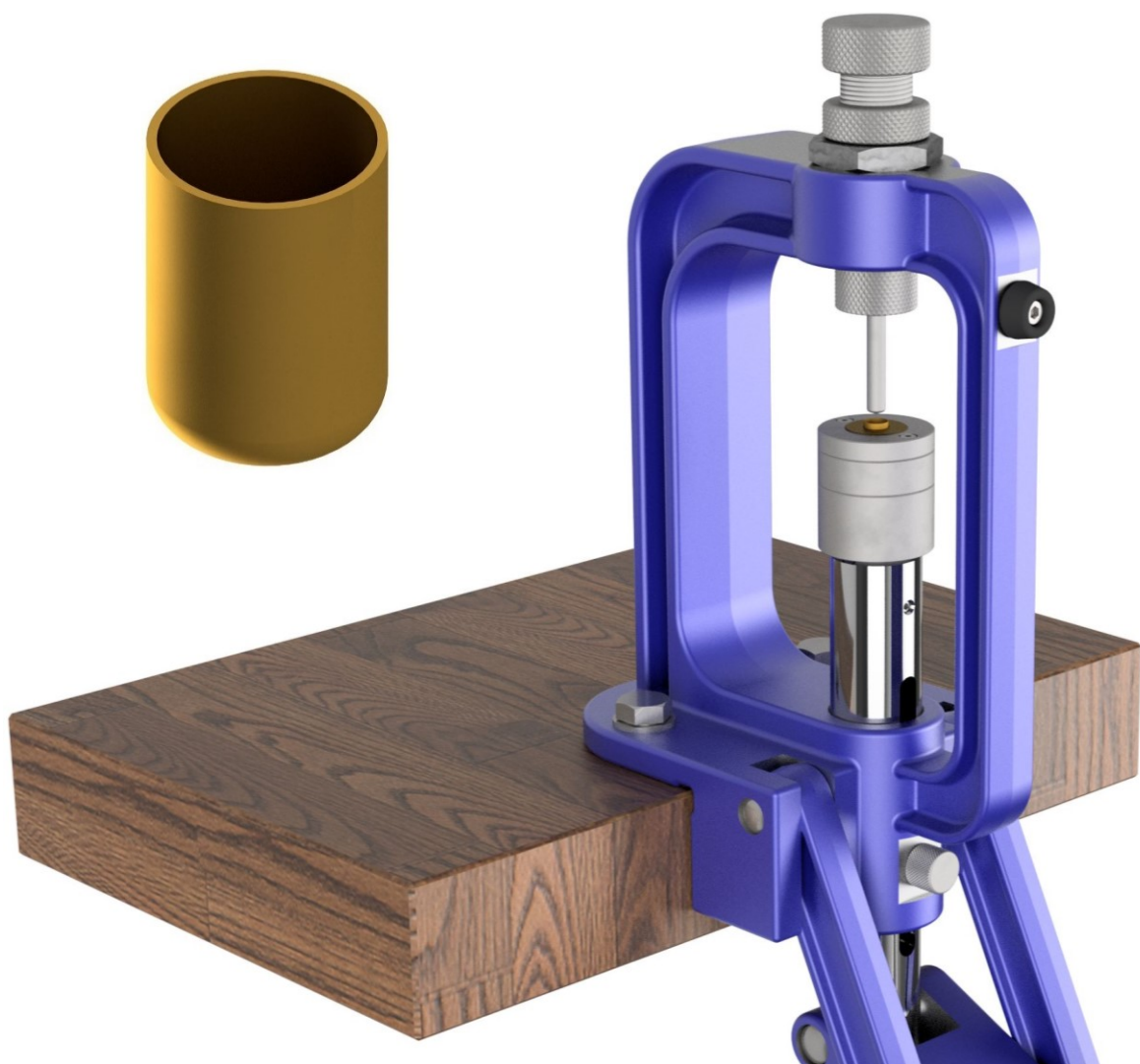
Konstrukce tažidla dle obr. 31 a 32 je v tomto případě oproti 1. tahu zjednodušená, jelikož zde odpadá nutnost použití přidržovače. Do závitové redukce je upevněn statický tažník (1) z nástrojové oceli. U tažnice jsou změněny pouze rozměry karbidové vložky (3). Výtažek z předchozího tahu (5) se vloží do otvoru v její horní části, kde se zároveň vystředí. Upevňovací deska (2), upevňovací kroužek (4), spodní díl (6) s výstupním otvorem pro finální výtažek (8) a adaptér (7) zůstávají nezměněny.



Obr. 31 Konstrukce tažidla pro 2. tah



Obr. 32 Vyobrazení tažidla 2. tahu v rozpadu



Obr. 33 Operace 2. tahu

5.4 Nástroje pro odlévání olověného jádra

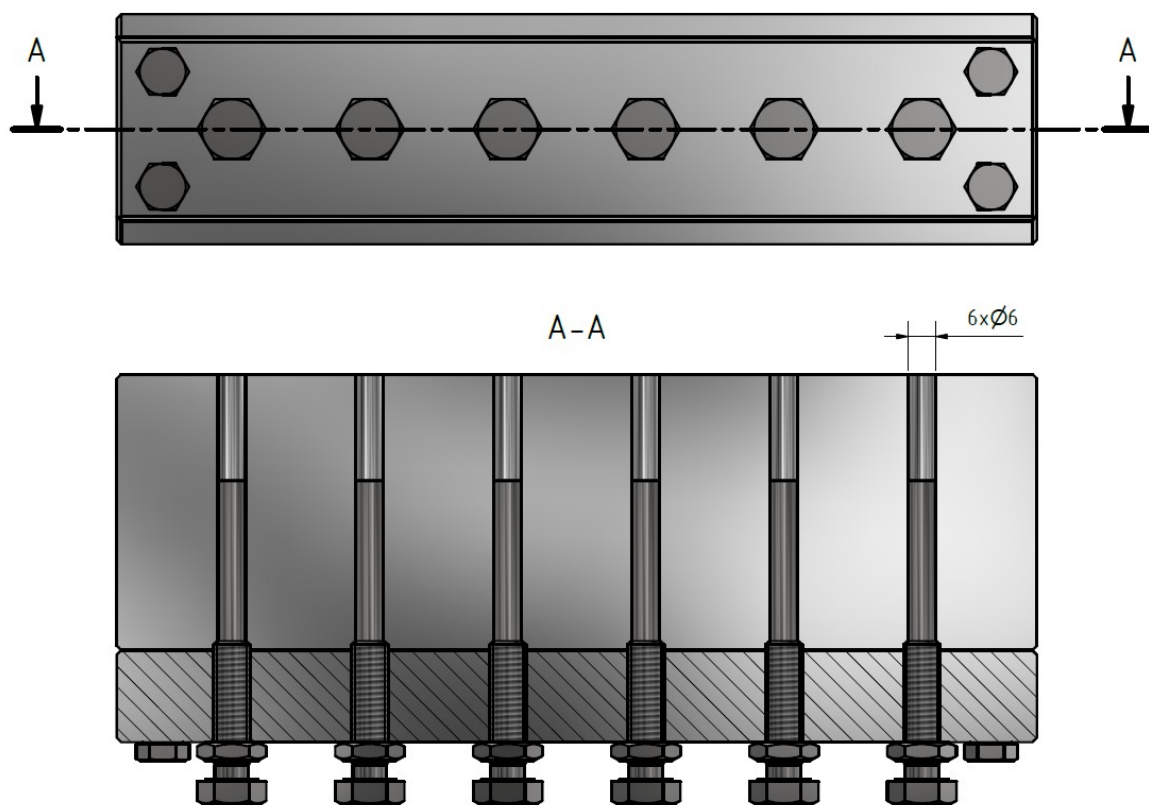
Způsobů výroby jádra střely existuje několik. Olověná jádra továrních střel se typicky vyrábějí z olověného drátu s obsahem antimonu a dalších legujících prvků. Další možností je odlévání střel z olova pomocí odlévací sady, kterou lze běžně zakoupit. Tato sada obsahuje pícku a odlévací kokily, které se upevňují do speciálních kleští. Tvar a rozměry otvorů v kokilách odpovídají rozměrům střely požadovaného tvaru a ráže. Slouží tedy k výrobě celoolověných střel bez pláště, které se po odlévání pouze kalibrují.



Obr. 34 Kokily pro odlévání střel 9mm od firmy Lee Precision [8]

Výrobce Lee Precision nabízí, kromě kokil pro odlévání nejrůznějších ráží, také kokily surové, bez otvorů a dává tak zákazníkovi možnost nechat si odlévací otvory zhotovit dle přání. Rozhodl jsem se tuto možnost využít a zakomponovat ji do návrhu této operace.

Hlavní myšlenkou je uživatelská úprava surových kokil Lee Balnk 6 Cavity Mold, která je znázorněna na obrázku 34. Spočívá ve zhotovení 6 jednoduchých průchozích válcových otvorů pro odlévání olověných válečků. Ke spodní části kokil je připevněna speciální deska s regulačními šrouby se staženým dříkem, kterými je podle potřeby regulována délka válečků, což umožňuje výrobu jader libovolné hmotnosti a ráže. Pro odlévání lze využít jak kupované olovo, tak odpadní olovo ze střelnic, případně z jiných zdrojů.



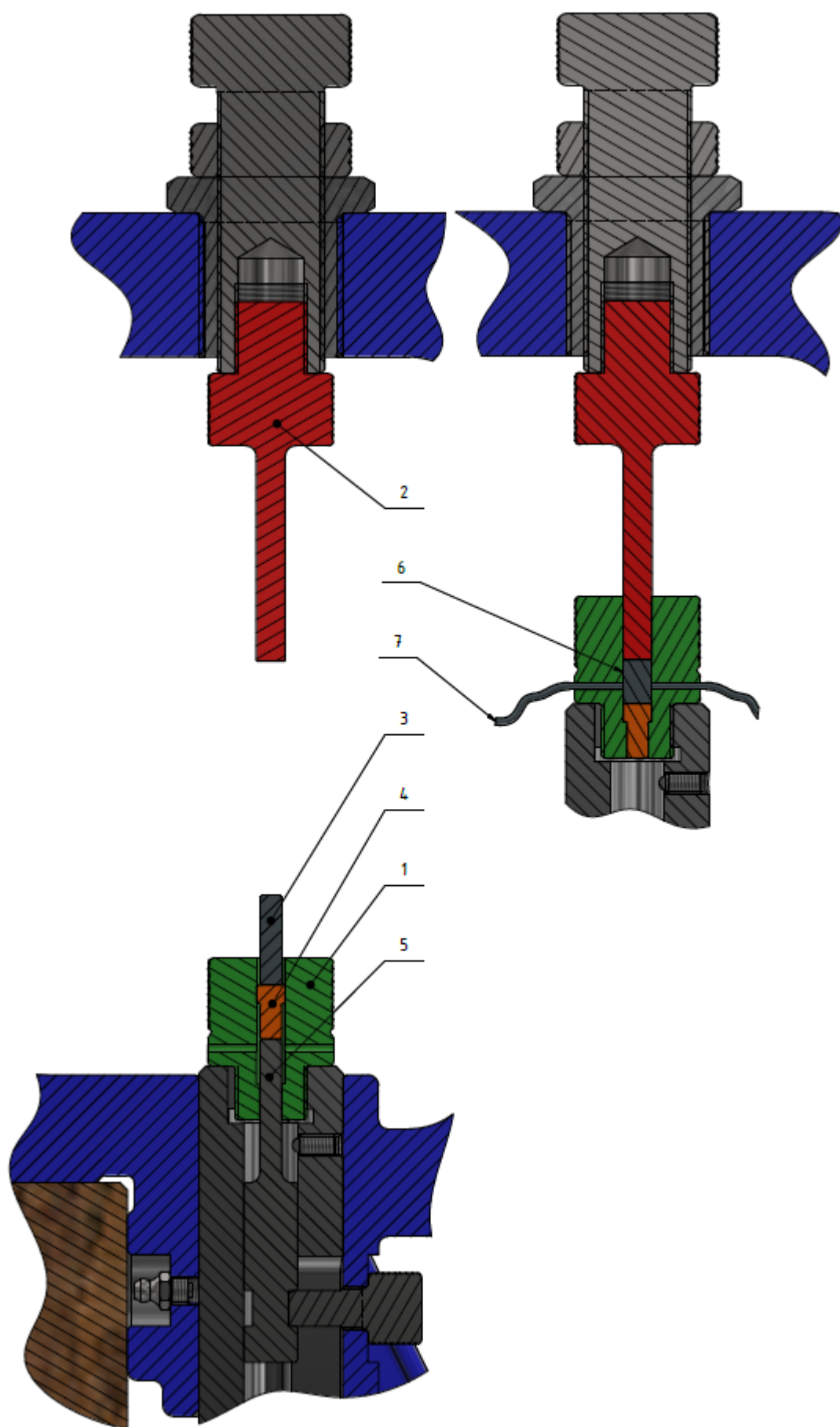
Obr. 35 Konstrukční úprava kokil



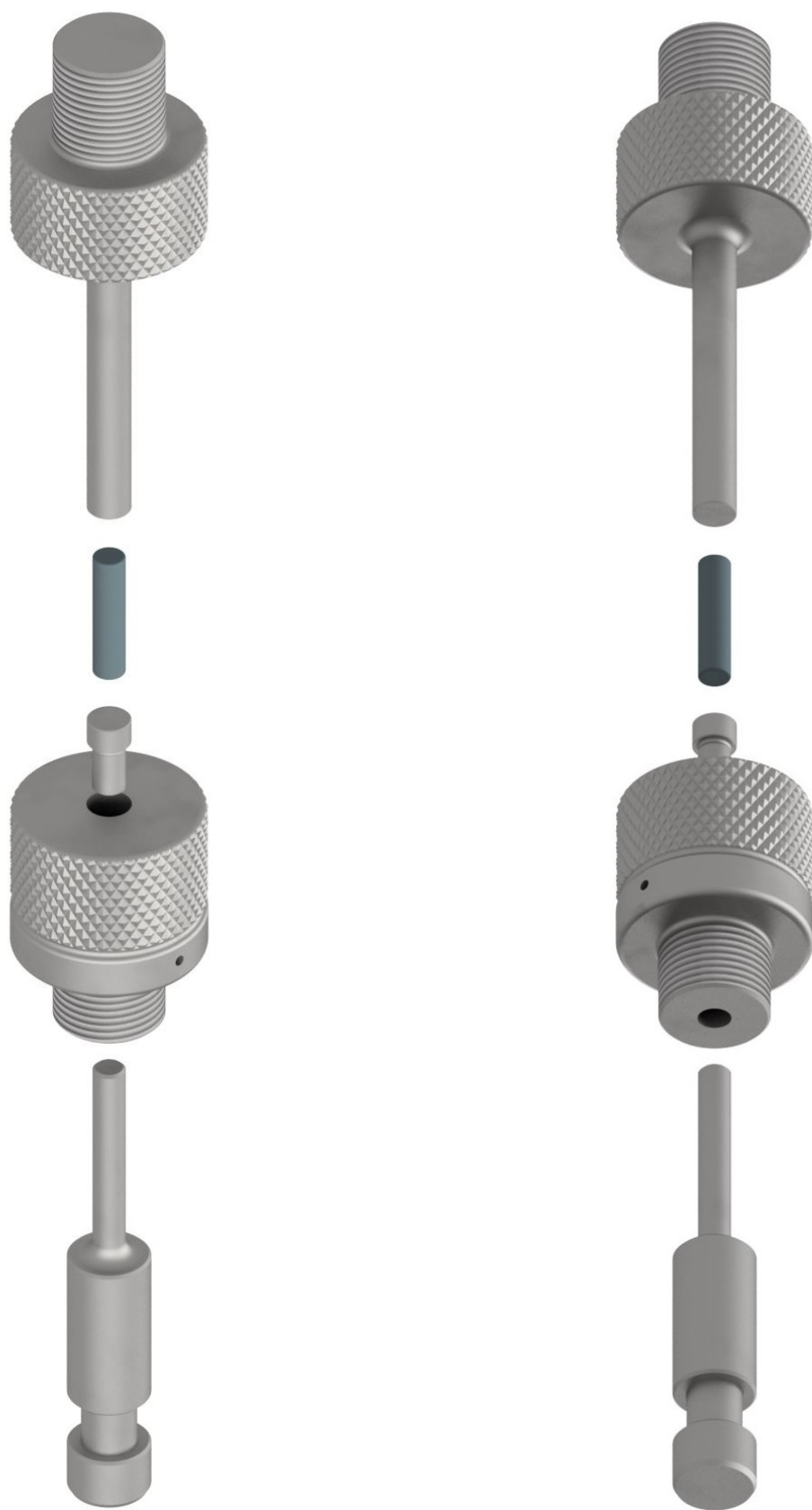
Obr. 36 Odlitek válečku z olova

5.5 Matrice pro kalibraci jádra

Kalibrování jádra popisuje obrázek 37 a 38. Olověný odlitek z předchozí operace (3) se vloží do kalibrační matrice (1), do které je volně vsunut vyhazovač (4). Během zdvihu je pak váleček vtlačen do matrice statickým trnem (2), dochází ke zformování jeho průměru a délky a jeho drsný povrch po odlévání se vyhladí. Přebytké olovo (7) odchází příčnými otvory v matrici a lze jej později znova zužít při odlévání. Hmotnost kalibrovaného olověného jádra (6) lze regulovat axiální polohou trnu a její hodnota by se měla rovnat požadované hmotnosti finální střely zmenšené o hmotnost připraveného polotovaru pláště. Při zpětném pohybu beranu dojde k dosednutí vyhazovače na vnitřní trn (5) beranu a tím vytlačení hotového jádra z matrice.

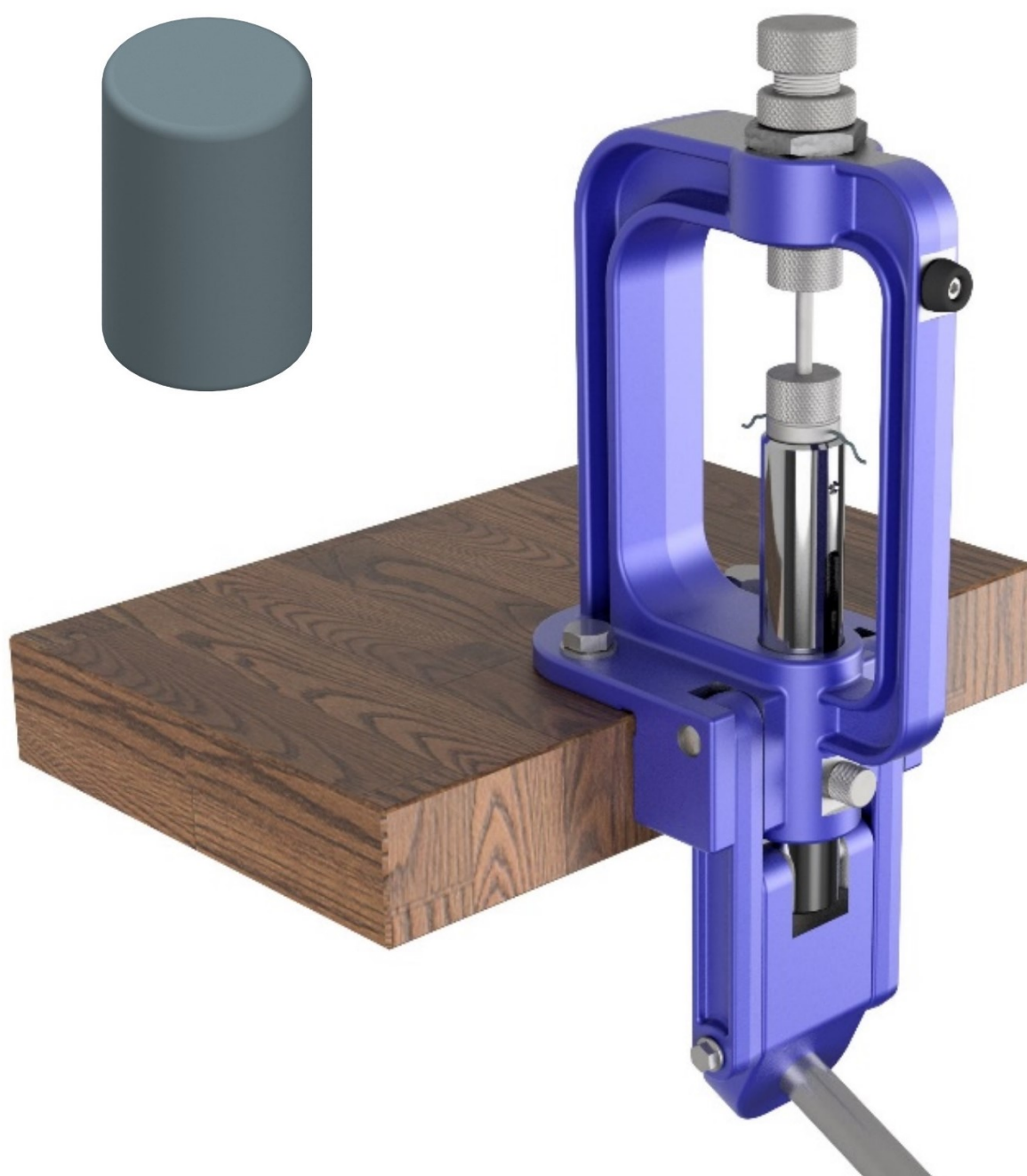


Obr. 37 Konstrukce kalibračních nástrojů



Obr. 38

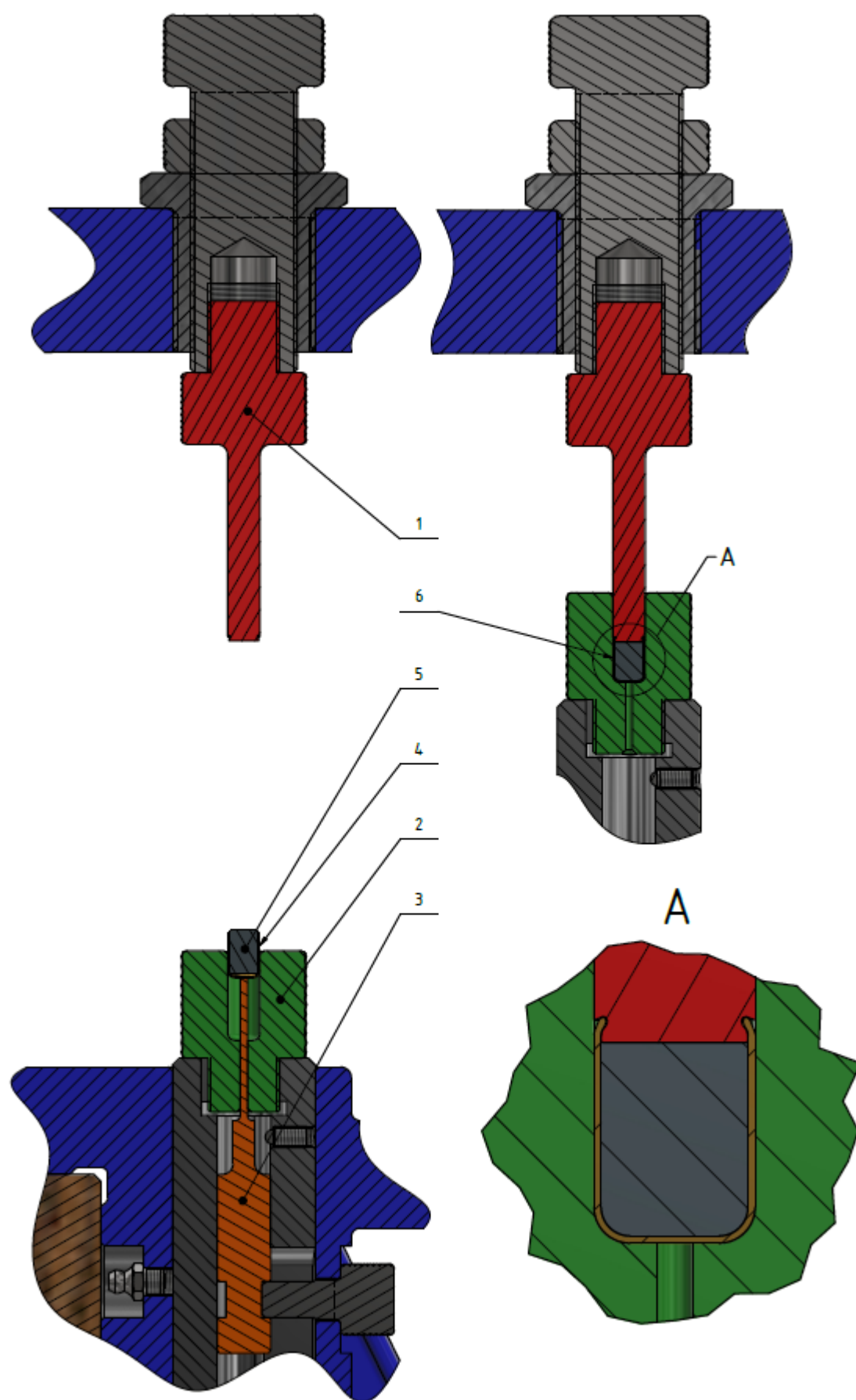
Vyobrazení kalibračních nástrojů v rozpadu



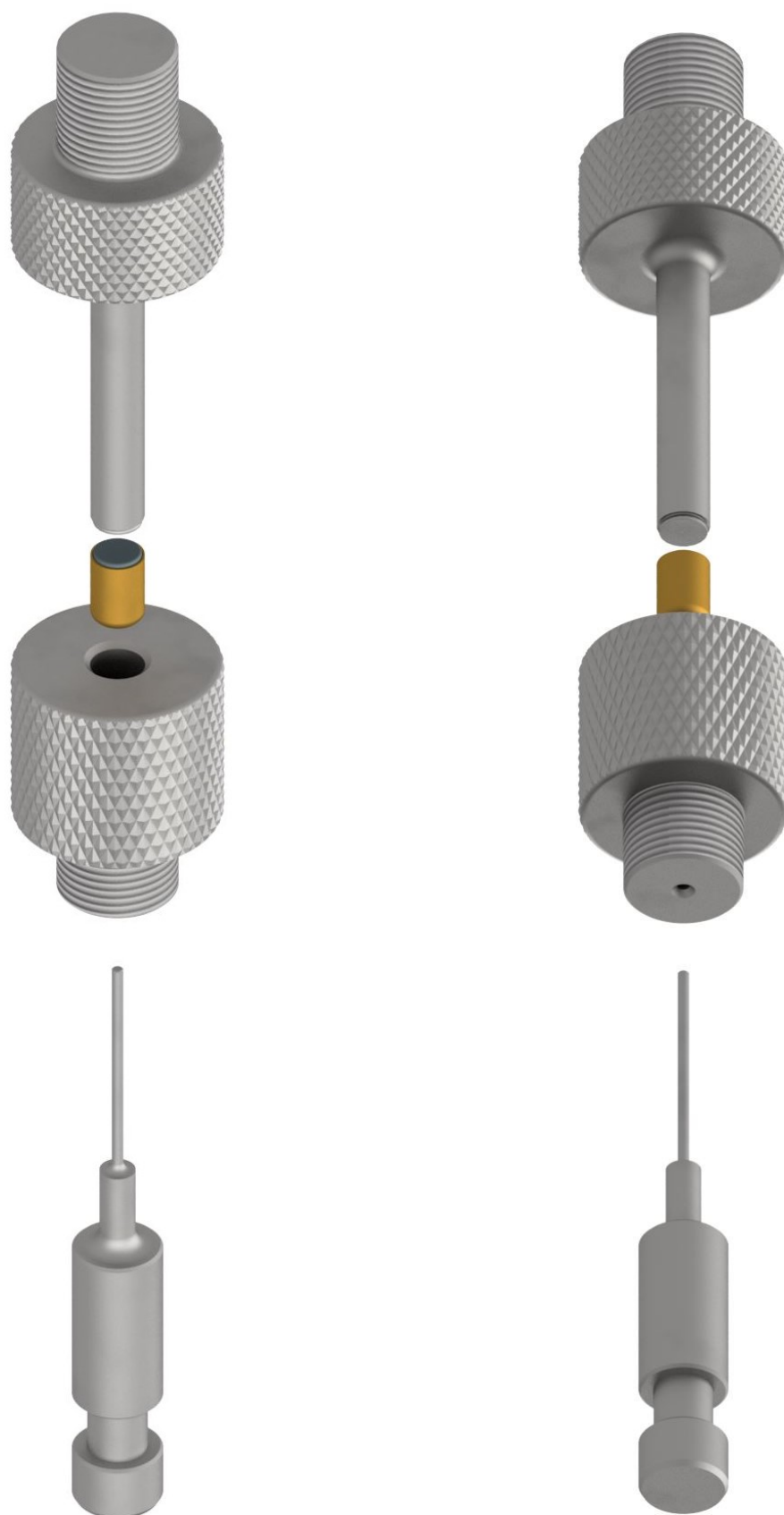
Obr. 39 Operace kalibrování olověného jádra a výsledný produkt

5.6 Matrice usazovací a lemovací

Dle obrázků 40 a 41, do kalíšku (4) vytaženého v druhém tahu se vsune kalibrované olověné jádro (5) z předchozí operace a umístí se do matrice (2). Tlak vyvinutý trnem (1) způsobí upěchování jádra, které vyplní vnitřní rozměry kalíšku. Speciální tvarování konce trnu zajistí vytvoření záhybu na lemu pláště. Při zpětném pohybu je výsledný produkt (6) z matrice vyhozen vyhazovacím trnem (3).



Obr. 40 Konstrukce nástrojů pro usazení a lemování



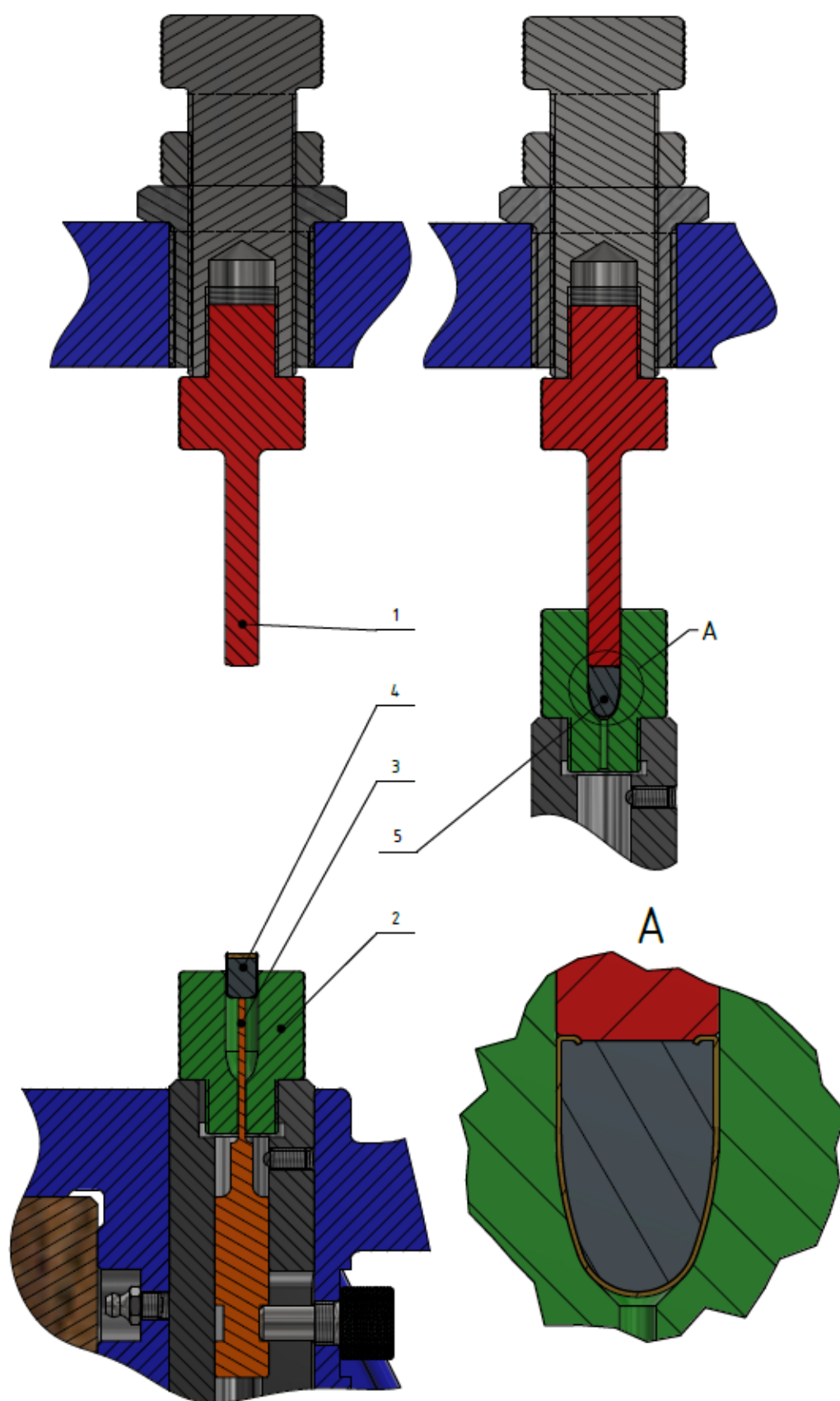
Obr. 41 Vyobrazení nástrojů pro usazení a lemování v rozpadu



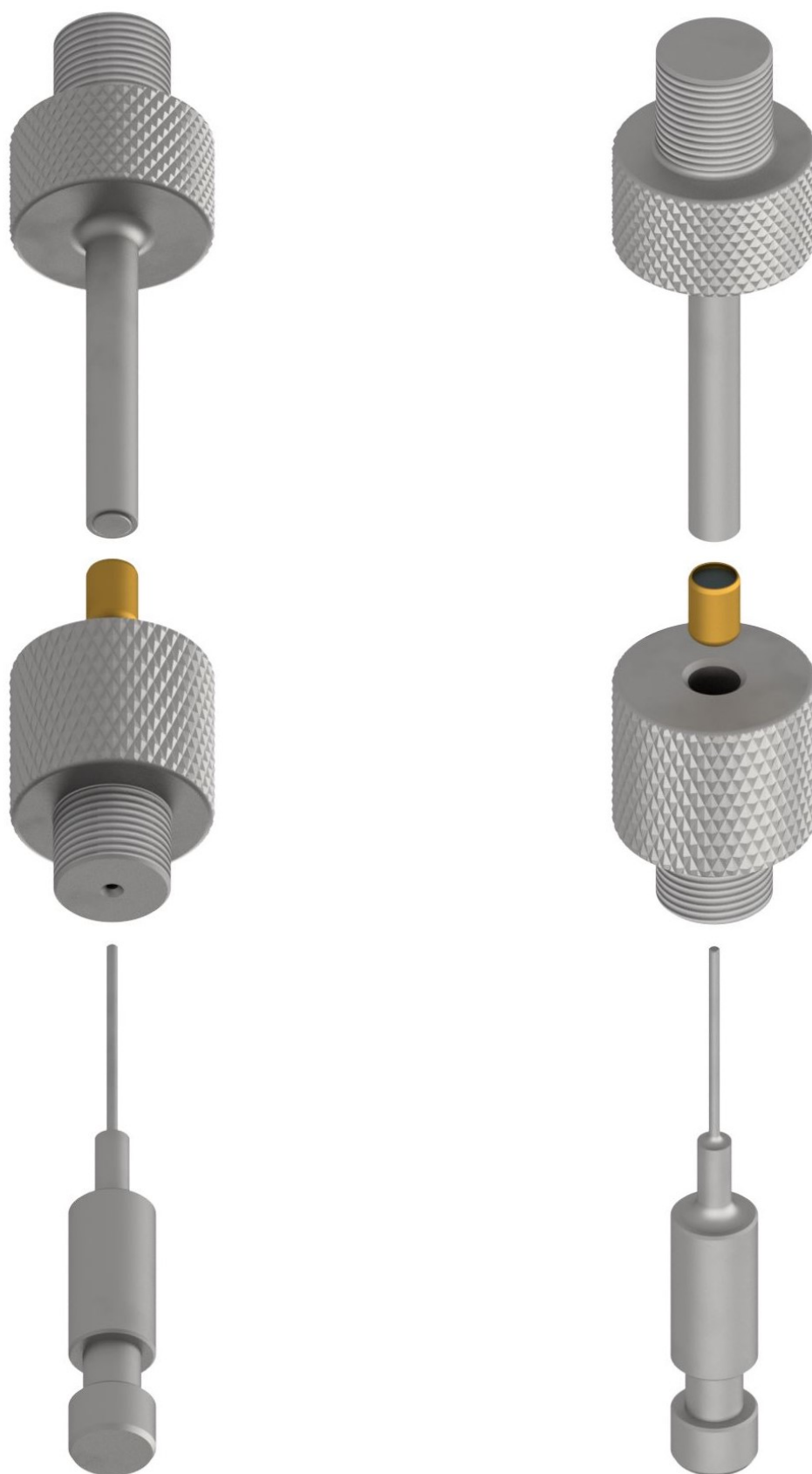
Obr. 42 Operace usazování a lemování a výsledný produkt

5.7 Matrice formovací

Finální operaci znázorňují obrázky 43 a 44. Toto je finální operace, jejímž produktem je hotová střela (5), kterou lze použít k přebíjení střeliva. Do formovací matrice (1) je vložen kalíšek s usazeným jádrem (4) z předchozí operace. Během zdvihu je polotovar postupně trnem (2) zatlačován do dutiny matrice a získává tak svůj finální požadovaný tvar. Tvarování trnu vytvoří ploché dno střely se zahnutými cípy pláště, které jsou vtlačeny do jádra. Vyhození střely je řešeno stejně jako v předchozím případě vyhazovacím trnem (3), který ji při vratném pohybu vytlačí ven z matrice.

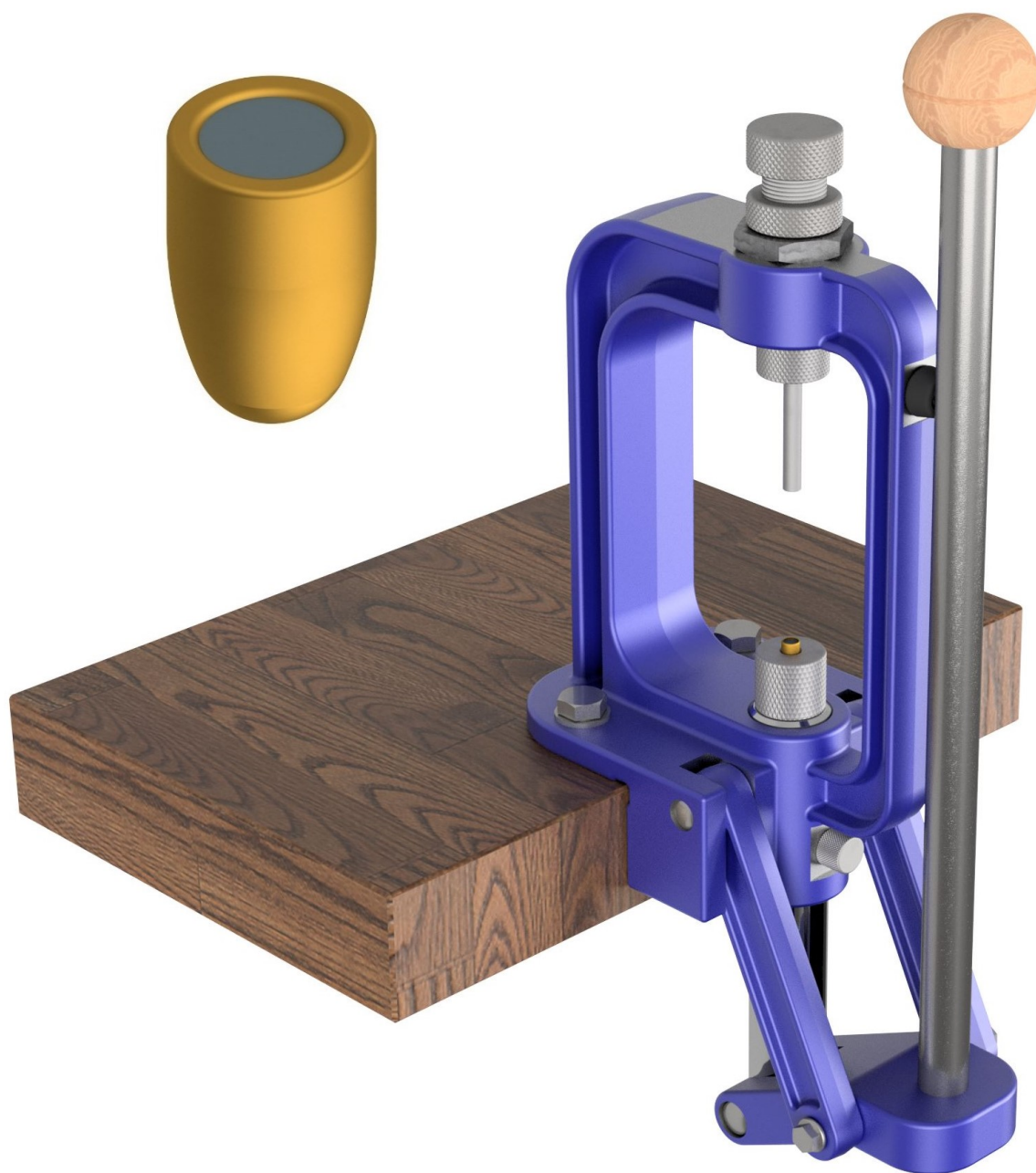


Obr. 43 Konstrukce formovacích nástrojů



Obr. 44

Vyobrazení formovacích nástrojů v rozpadu



Obr. 45 *Finální operace formování střely a výsledný produkt*

6. Závěr

Na základě stanovených cílů je v úvodní části práce vysvětlena základní myšlenka zařízení pro domácí výrobu celoplášťových střel jako spotřebního materiálu pro účely domácího přebíjení střeliva a je zde nastíněn jeho technický potenciál. Zařízení pro tento účel se na trhu dosud nevyskytuje a mohlo by tak vyplnit mezeru na trhu a svému uživateli přinést značnou úsporu nákladů na pořízení továrních střel. Následuje stručná rešerše v oblasti střeliva obsahující základní poznatky o historickém vývoji a informace o konstrukci, fungování a výroby moderního střeliva.

V další kapitole je vypracován koncept celého zařízení, které je navrženo jako víceoperační, ručně ovládaný robustní lis, jenž je v závislosti na zvolené ráži osazen příslušnou sadou výrobních nástrojů. Následně je vytvořen kompletní technologický postup s výpočty střížných a tažných operací spolu s nastíněním problematiky technického řešení dalších úkonů.

Na základě kinematických výpočtů je dále vytvořeno kompletní konstrukce lisu, která je podložena kontrolními výpočty a MKP analýzou rámu. Podle technologického postupu a s přihlédnutím k poznatkům získaných v rámci odborných konzultací ve firmě Sellier & Bellot je následně vypracováno konstrukční řešení nástrojové sady spolu s vysvětlením průběhu operací a pracovního postupu. Lis i veškeré nástroje jsou detailně vyobrazeny ve finální podobě tak, jak by mohly vypadat ve skutečnosti.

Cíle práce byly splněny, avšak z důvodu ochrany firemních tajemství byly některé aspekty v oblasti rešerše, například průmyslová výroba střel, záměrně vynechány. Úspěšnému uvedení na trh by samozřejmě předcházela výroba experimentálního prototypu, který by bylo nutné podrobit testování, na jehož základě by byly provedeny případné konstrukční úpravy. Tuto práci tak v budoucnu využiji jako podklad pro výrobu reálného zařízení přinejmenším pro vlastní potřebu. V lepším případě by mohl být přístroj časem uveden na trh.

7. Seznam použité literatury

- [9] TIŠNOVSKÝ, Miroslav. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
- [10] ČADA, Radek. Technologie tváření, slévání a svařování: stříhání a tažení plechu, objemové tváření za studena : (návody do cvičení). Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3624-9.

8. Seznam převzatých obrázků

- [1] CONFEDERATE ARMY CARTRIDGE PACKAGE AND CARTRIDGES. In: Minnesota Historical Society [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://discussions.mnhs.org/collections/wp-content/imagescaler/d8b7103f7e973b8ec7a0239f2ddc0cf5.jpg>
- [2] Chassepot rifle, 1868, Saint-Étienne. In: Te Papa Museum [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://media.tepapa.govt.nz/collection/131926/full>
- [3] Just some rare cartridges. In: Reddit [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://i.imgur.com/ZPbcMIll.jpg>
- [4] C. D. Leet & Company Pinfire Cartridges. In: CasimirLefaucheux.com [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://casimirlefauchaux.com/uploads/default/optimized/1X/1382c8618a2f01e6eecd187de6a184a3222859_2_690x467.jpeg
- [5] Belgian proof marks. In: The Firearms Forum [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.thefirearmsforum.com/cdn-cgi/image/format=auto,onerror=redirect,width=1920,height=1920,fit=scale-down/https://www.thefirearmsforum.com/attachments/flobert-amml-jpg.115367/>
- [6] How to Choose (and Use) AK Rifle Loads. In: The Shooter's Log [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/blog.cheaperthandirt.com/wp-content/uploads/2019/08/AK-ammo-7.jpeg?w=1053&ssl=1>
- [7] What's that Smell? Cordite vs. Gunpowder vs. Propellant. In: The Writer's Guide to Weapons [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://crimefictionbook.files.wordpress.com/2015/04/gunpowder-propellant-fiction-writing.jpg>
- [8] Lee Precision Mold 6 Cavity TL356-124-2R. FS Reloading [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://fsreloading.com/lee-precision-mold-6-cavity-tl356-124-2r.html>

9. Seznam příloh

Výkresová dokumentace:

- Výkres sestavy lisu